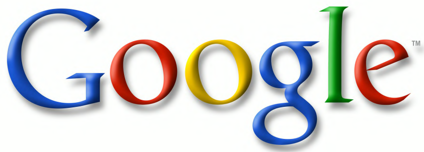


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

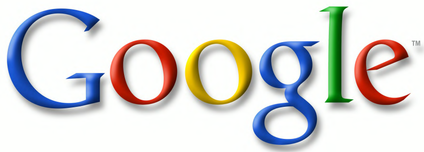
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

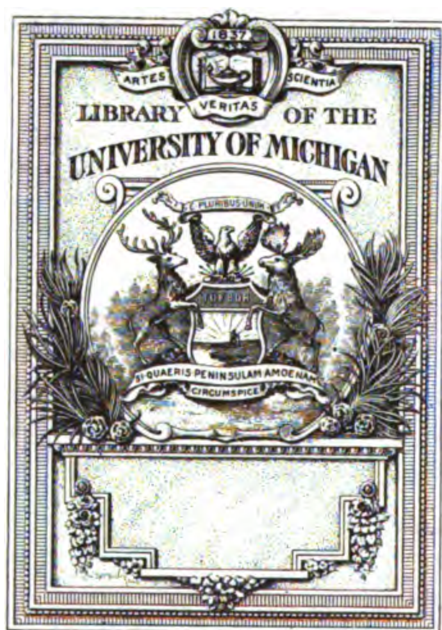
Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`




1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

Storage
[redacted] Science
Library
TN
2
A6

ANNALES

DES MINES

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'Administration des Mines et sous la direction d'une Commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux publics. Cette Commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et de la comptabilité, est composée ainsi qu'il suit :

MM.

Linder, inspecteur gén. des mines, *président*.

Haton de la Goupillière, insp. gén., direct. de l'Ecole supérieure des mines.

Lorieux, inspecteur général.

Vicaire, inspect. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines.

Peslin, inspecteur général.

Carnot, insp. gén., inspecteur de l'Ecole supérieure des mines.

Aguillon, insp. gén., professeur à l'Ecole supérieure des mines.

Keller, insp. gén., secrétaire de la Commission de la statistique de l'industrie minérale.

Worms de Romilly, insp. gén.

MM.

Nivoit, inspecteur général.

Cheysson, insp. gén. des ponts et chaussées, professeur à l'Ecole supérieure des mines.

Potier, ingénieur en chef, prof. à l'Ecole supérieure des mines.

Douvillé, d°

Bertrand, d°

Le Chatelier, d°

Lodin, d°

Sauvage, d°

Humbert, d°

Termier, d°

Pellé, ing. des mines, professeur à l'Ecole supérieure des mines.

De Launay, d°

Zeiller, ingénieur en chef, *secrétaire de la Commission*.

L'Administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux publics*, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la Commission des Annales des Mines.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé 10 francs par planche et par cent exemplaires ou fraction de centaine. Les planches extraordinaires sont payées au prix de revient.

Le brochage, y compris couverture imprimée et faux frais, est payé, pour une feuille seule ou une fraction de feuille, 3 francs le premier cent et 1f,25 pour chaque centaine ou fraction de centaine en plus. Pour chaque planche, ou chaque nouvelle feuille de texte, il sera payé 0f,25 par chaque centaine d'exemplaires.

La publication des Annales des Mines a lieu par livraisons, qui paraissent tous les mois.

Les douze livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 120 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'Etranger.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

ANNALES
DES MINES

94624

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT

PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

NEUVIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XV.

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—

1899

ANNALES

DES MINES

MÉMOIRE

SUR LES

PHOSPHATES NOIRS DES PYRÉNÉES

Par M. DAVID LEVAT, Ancien Élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur Civil des Mines à Paris.

INTRODUCTION.

J'ai reçu, dans les premiers jours du mois de Mai 1898, un échantillon d'une sorte de schiste noir, charbonneux, brillant, tachant fortement les doigts en noir, qui donnait à l'analyse une teneur de 17 p. 100 d'acide phosphorique.

L'apparence de cette matière était tellement différente de l'aspect ordinaire des phosphates naturels que je résolus d'aller examiner sur place son mode de formation. Je visitai le gisement pour la première fois, le 9 Mai 1898, au lieu dit « Roc Manaudas », aux environs d'Accous et de Lescun, localités situées à 32 kilomètres environ au Sud d'Oloron, dans les vallées du Gave d'Aspe et du Gave de Lescun (Pl. I, *fig.* 14). Je constatai immédiatement, à la simple inspection des lieux, que les matières phosphatées qui avaient été soumises à mon examen ne provenaient ni d'un amas ou poche de dimensions limitées, ni du remplissage d'une fracture, constituant un accident local, mais

faisaient partie d'une couche régulière, interstratifiée dans les calcaires appartenant au terrain dévonien supérieur.

Cette première constatation me permit de repérer la couche depuis le Roc Manaudas, qui se trouve sur les terrains communaux du canton d'Accous, jusque sur les bords du ruisseau de Labrenère, affluent du Gave de Lescun. Au-delà de ce ruisseau, le gisement traverse les bois dits de Larassiette et se dirige, en suivant une ligne à peu près N.E.-S.O., vers la ligne des crêtes qui forme la frontière d'Espagne. Toute cette seconde partie du gisement se trouvait sur le territoire de la commune de Lescun, sur laquelle les détenteurs du droit d'exploitation des matières non concessibles, MM. Roger Manescau, Marcou et Ernest Lavigne, avaient déjà obtenu de la commune un périmètre d'exploitation qu'ils firent aussitôt étendre sur le prolongement vers le Sud de la couche phosphatée.

J'ai communiqué les résultats de cette première étude au Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences à Nantes, au commencement du mois d'Août dernier. J'ai donné à cette époque, à la Section de Géologie (*), les coupes principales de ce gisement avec quelques indications générales sur la formation dévonienne et carbonifère de la région.

Un certain nombre d'agriculteurs du département des Basses-Pyrénées ayant déjà fait l'essai direct de ces phosphates, simplement moulus, à des cultures assez variées, je présentai un résumé de leurs résultats culturaux à la Section d'Agronomie (**) du même Congrès.

Je possédais, d'autre part, des notions complètes sur

(*) Association française pour l'Avancement des Sciences : Congrès de Nantes, 1898 : M. D. Levat, *Notice géologique sur les phosphates noirs d'Accous (Basses-Pyrénées)*. Communication faite à la VIII[e] Section (Géologie).

(**) Même session : M. D. Levat, *Une nouvelle source de phosphates français. Les phosphates noirs d'Accous*. Communication à la XIII[e] Section (Agronomie).

les gisements dévoniens du Tennessee, dont j'ai parlé dans un précédent ouvrage, paru dans les *Annales des Mines*, de sorte que j'avais envisagé, dès les premiers jours, la possibilité d'un parallélisme complet entre les gisements de phosphates noirs dévoniens des Pyrénées et ceux, de même âge, du Nouveau Monde.

La découverte récente des gisements de phosphate dévoniens de l'Arkansas, sur lesquels je possédais des données précises, me faisait envisager comme très probable l'existence d'un grand niveau phosphaté de même âge, sur le versant Nord des Pyrénées françaises.

Découverte du niveau des phosphates noirs dévoniens. — Convaincu, par conséquent, que je devais retrouver la prolongation des phosphates d'Accous et de Lescun sur d'autres points des Pyrénées et démontrer ainsi la continuité de ce niveau, tout au moins au point de vue géologique et stratigraphique, je portai mes recherches sur les diverses régions où les contacts entre le terrain dévonien et les terrains de transition sont particulièrement développés.

C'est ainsi que j'ai découvert, dès la première quinzaine du mois d'Août dernier, les gisements de phosphate noir qui s'étendent, entre Foix et Saint-Girons, sur une longueur de plus de 20 kilomètres.

Passant de là sur la rive droite de l'Ariège, je les retrouvais très nettement caractérisés aux environs de Celles et de Saint-Antoine, sur la route de Foix à Ax-les-Thermes, et enfin, au Sud de Prades, dans les Pyrénées-Orientales, aux environs de Villefranche-de-Conflent.

Remontant ensuite dans le massif des Corbières, où le Dévonien et les terrains de transition ont été signalés et étudiés depuis déjà longtemps, j'y retrouvais, géologiquement caractérisé par la présence des nodules, le niveau phosphaté qui couronne la griotte.

Enfin, pour terminer cette reconnaissance d'ensemble du niveau, j'ai été le retrouver sur le flanc Sud de la montagne Noire, aux environs de Caunes, c'est-à-dire sur les derniers contreforts de la grande formation dévonienne du Tarn et de l'Hérault. Nul doute qu'on ne puisse suivre, dans ces derniers départements, le niveau phosphaté, dont j'ai, comme on le voit, jalonné déjà les principaux points, sur une surface considérable.

La composition de ce nouvel horizon est, ainsi que je vais l'expliquer, sujette à des variations considérables; mais la continuité de la couche au point de vue purement géologique est désormais un fait acquis et indéniable, comme je l'ai dit dans ma récente communication à l'Académie des Sciences (*). Quant à la valeur industrielle des phosphates noirs des Pyrénées, elle dépend, on le comprend aisément, de plusieurs genres de considérations. L'élément capital est la proximité plus ou moins immédiate des voies ferrées, voisinage dont l'importance est d'autant plus grande qu'il s'agit de matières, ayant comme les phosphates une valeur intrinsèque relativement faible.

Je viens de dire que la composition de la couche et sa teneur en acide phosphorique sont sujettes à des variations considérables. En effet, certaines zones privilégiées sont caractérisées par la présence, au sein du gisement dont ils constituent la partie essentielle, d'une quantité de nodules noirs, durs et brillants, généralement aplatis, tenant 60 à 70 p. 100 de phosphate tribasique de chaux. Ce sont ces zones qui offrent, sans contredit, le plus d'intérêt au point de vue économique.

Enfin, la composition même des matières est sujette à des variations très importantes au point de vue de la valeur agricole des produits. Les phosphates noirs des

---

(*) D. Levat, *Note sur les phosphates noirs des Pyrénées*, présentée par M. Haton de la Goupillière (*C. R.*, Séance du 21 Novembre 1898).

Pyrénées présentent diverses particularités remarquables : ils contiennent tous une proportion assez élevée de matières organiques. Certains échantillons m'ont donné jusqu'à 38 p. 100, et dans cette matière organique on trouve de l'azote sous forme d'azote organique et non d'azote nitrique, en quantité qui est souvent loin d'être négligeable au point de vue agricole. J'ajoute que la potasse, même sous forme soluble dans l'eau, y a été généralement reconnue, quoique en proportion plus faible. On voit que ces matières diffèrent foncièrement non seulement par leur aspect, mais aussi par leur composition intime, des phosphates minéraux ordinaires.

Il y a là, en résumé, un ensemble de considérations qui méritent quelques développements. Bien que le temps qui s'est écoulé depuis mes premières prospections sur les lieux soit relativement court, j'espère être en mesure de pouvoir dégager, dès à présent, un certain nombre de faits nouveaux et bien établis, qu'il m'a paru utile de faire connaître.

Tel est le but du présent mémoire.

Importance de cette découverte. — Les gisements de phosphates naturels que j'ai découverts dans la région pyrénéenne offrent, pour toute la région agricole du Sud-Ouest, depuis Narbonne jusqu'à Bordeaux, un intérêt majeur. Toute cette partie de la France est, en effet, essentiellement agricole, et ses terres manquent presque toutes de l'élément phosphore ; d'autre part, les gisements de phosphates importants ont fait jusqu'ici totalement défaut dans cette région. Les agriculteurs ont été obligés de s'adresser jusqu'ici aux phosphates importés ou aux scories de déphosphoration, importées aussi.

Les phosphates du Lot et du Lot-et-Garonne, plus connus sous le nom de phosphates du Quercy, n'ont eu qu'une durée éphémère, et le mode même de gisement de ces

matières, en poches ou amas concrétionnés de phosphorite riche dans les calcaires oxfordiens, n'était pas de nature à assurer leur avenir. Ces exploitations sont aujourd'hui complètement arrêtées. Elles n'ont dû leur vogue qu'aux prix extraordinairement élevés auxquels on payait les phosphates riches à l'époque où leur exploitation dans le Quercy battait son plein, vers 1886. La baisse de prix qui s'est produite dès 1890 a été le signal d'arrêt. Le prix du kilogramme d'acide phosphorique entre 1886 et 1892 a baissé de plus de 50 p. 100.

On peut dire, en thèse générale, que, depuis la découverte des grands gisements de phosphates sédimentaires, les phosphorites et les apatites, en gisements irréguliers et limités, ont pratiquement disparu du marché. Je comprends, sous ce nom de phosphates sédimentaires en couches, aussi bien les phosphates de la craie grise qu'accompagnent les poches de sables phosphatés de la Somme et de l'Oise, que les phosphates éocènes de l'Algérie et de la Floride et, enfin, pour citer les derniers venus dans l'ordre chronologique, les gisements dévoniens ou post-dévoniens du Tennessee et de l'Arkansas, aux États-Unis, et les phosphates noirs, du même âge, des Pyrénées.

Plan du mémoire. — Je me propose, dans l'étude qui va suivre, de donner une description des principaux gisements de phosphates noirs, que j'ai découverts dans les Pyrénées, en faisant ressortir tout d'abord le lien géologique qui les réunit, en décrivant ensuite les diverses particularités qui les caractérisent. J'en déduirai un essai sur la répartition de ces matières en zones riches, zones à nodules, etc.; et je dirai à ce sujet quelques mots sur l'origine de ces matières, d'après l'étude sommaire que j'ai pu en faire, tant sur les lieux qu'au laboratoire, dans le court laps de temps dont j'ai disposé depuis leur découverte.

Je terminerai enfin par des considérations relatives à l'emploi agricole de ces matières, en faisant connaître les résultats déjà acquis et la voie dans laquelle elles trouveront, à mon avis, leur emploi le plus rationnel et le plus avantageux pour les agriculteurs du Sud-Ouest de la France.

Qu'il me soit permis, en terminant ce préambule, de remercier M. l'Inspecteur général Ad. Carnot, Professeur à l'École des Mines, de son concours, pour les analyses du fluor dans les phosphates, dont je lui suis redevable; M. Cayeux, Préparateur de Géologie à l'École des Mines, qui a bien voulu se charger des analyses micrographiques de mes échantillons, et M. Termier, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines, qui a mis obligeamment son laboratoire à ma disposition, pour y exécuter les analyses que nécessitait mon étude.

Je dois enfin une mention toute spéciale de ma gratitude, pour la collaboration qui m'a été donnée sur les lieux mêmes, par MM. Seguélas, Ingénieur attaché à la Société des Mines de manganèse de Las Cabesses, mines dont il a été l'inventeur, et Laurent, Directeur local des Exploitations minières de La Bastide-de-Sérou. Grâce à leur concours efficace, il m'a été possible, dans un délai très court, de trois mois à peine, de relever l'ensemble de la formation phosphatée de l'Ariège, de reconnaître l'allure et la composition de la couche phosphatée sur un grand nombre de points et de déterminer, d'une manière exacte, les limites des zones d'enrichissement avec nodules. Je leur en témoigne ici toute ma reconnaissance.

I

HISTORIQUE.

Des phosphates dévoniens en général. — La présence du phosphate de chaux dans le terrain dévonien en France n'a été constatée jusqu'ici qu'à titre exceptionnel, de sorte que les travaux sur ce sujet se réduisent à très peu de choses.

On peut dire d'ailleurs, en thèse générale, que jusque dans ces derniers temps la formation dévonienne était l'une de celles qui se signalait par sa pauvreté extrême en horizons phosphatés, horizons qui deviennent, on le sait, si fréquents dans toute l'échelle des terrains, à partir de l'époque crétacée. En dehors, en effet, des gîtes classiques de Nassau, on ne connaissait jusqu'à ces dernières années, aucun gisement de phosphates dévoniens, susceptibles d'une utilisation industrielle. Cette exception à la stérilité du terrain dévonien n'était d'ailleurs qu'apparente. Les travaux de Fuchs sur ce sujet sont restés malheureusement inédits; mais M. de Launay les a résumés dans le *Traité des Gîtes métallifères*. Leur conclusion, c'est que les gîtes dits dévoniens du Nassau (environs de Weilbourg et de Limbourg) ne sont pas enclavés dans les assises sédimentaires; la constitution de la partie réellement exploitable de leur masse est due à des phénomènes accessoires récents, qui ont concentré, dans des poches creusées dans le dévonien, les phosphates provenant des terrains superficiels (*).

C'est aussi l'opinion de M. Nivoit, qui attribue cette formation des phosphates de Nassau à la période tertiaire. Cet ingénieur cite encore, dans son excellent petit traité des *Gisements de phosphates de chaux*, paru en 1884

(*) Fuchs et de Launay, *Traité des Gîtes métallifères*, T. I, p. 361.

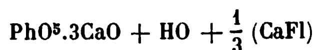
dans l'*Encyclopédie chimique* de Frémy (*), comme phosphates dépendant du terrain dévonien en France, les rares petits nodules à 15 p. 100 d'acide phosphorique, contenus dans les schistes à *Calceola sandalina* de Virieux-Molhains (Ardennes) et les concrétions mamelonnées demi-transparentes décrites par M. Damour, il y a trente-trois ans.

Note de M. Damour. — Ce dernier travail mérite une mention spéciale, car la note publiée par M. Damour dans les *Annales des Mines* (**) s'appliquait justement à un échantillon provenant du gisement de phosphates noirs de Saint-Girons. Malheureusement cette note n'envisageait que le côté purement docimasique et minéralogique de l'échantillon, et c'est ainsi que l'intéressant petit travail de M. Damour n'a pas été l'origine de la découverte des phosphates noirs des Pyrénées, bien qu'il ait été le premier à signaler la présence de l'acide phosphorique dans la région.

Analyse de M. Damour. — Voici l'analyse de l'échantillon qui avait été remis à M. Damour par M. Boubée :

Acide phosphorique	40.00
Chaux	47.31
Eau	5.30
Fluor	3.36
Calcium	3.60
Phosphate ferrique	0.43

correspondant à la formule :



$$PhO^5.3CaO + HO + \frac{1}{3}(CaFl)$$

(*) Nivoit, Professeur de Géologie à l'École des Ponts et Chaussées, *Gisements de phosphates de chaux* (*Encyclopédie chimique* de Frémy, T. V, Sect. I, 2e partie : *Produits chimiques*, p. 83.

(**) *Annales des Mines*, 5e série, T. X, p. 65.

« Cette espèce minérale, ajoute M. Damour, remplit « les fissures d'une roche argilo-ferrugineuse de couleur « brune, contenant une notable proportion de phosphate « de chaux et de carbonate de chaux, qui remplit un mince « filon engagé *entre les parois d'un schiste noir des environs* « *de Saint-Girons* (*Ariège*). M. Boubée, qui l'a recueilli en « place, considère les matières enfermées dans ce filon « comme ayant été amenées par des eaux thermales à « une époque géologique très ancienne. Dans le même « schiste, et à très peu de distance de ce filon, on rencontre « également la wavellite aciculaire et concrétionnée.

« La substance minérale dont je viens d'exposer les « caractères et la composition doit être considérée comme « une chaux phosphatée ou apatite hydratée. Je propose « de lui donner le nom d'hydro-apatite, qui rappelle sa « composition. »

Comme on le voit, on négligea à l'époque d'analyser les « schistes noirs », qui ne sont autre chose que la couche phosphatée que je décris plus loin, et l'existence des nodules dans cette couche ne fut pas remarquée.

Depuis cette époque, la présence de ces nodules n'a pas échappé à un certain nombre de géologues qui ont écrit sur les Pyrénées. Je citerai, dans la suite de ce travail, en étudiant les divers gisements de phosphates que j'ai reconnus, certains passages qui ne laissent aucun doute à cet égard. Leurs descriptions, pour la plupart, tant au point de vue de la position stratigraphique de la couche qu'à celui de l'exactitude des détails, ne laissent rien à désirer. Seule, la composition chimique de cette formation et, partant, son importance industrielle, avaient échappé jusqu'ici.

Recherches pour charbon. — Mais il y a plus. En différents points et notamment dans la vallée d'Aspe (Basses-Pyrénées) et aux environs de la Bastide-de-Sérou (Ariège),

il a été entrepris, à diverses époques, des travaux de reconnaissance sur la couche phosphatée elle-même. Ces travaux avaient tous en vue la recherche de la houille, les phosphates noirs des Pyrénées ayant en effet, au voisinage des affleurements, un aspect rappelant beaucoup celui de l'anthracite altéré. La confusion est aisément explicable. Il en a été de même aux États-Unis, sur les phosphates similaires.

La dernière de ces recherches pour houille date de 1890. Elle a été entreprise au lieu dit Roc Manaudas, sur un anticlinal dévonien très aigu, qui a mis la couche à nu, à une certaine hauteur du dessus du hameau de Lhers, bâti sur un plateau à une altitude de 1.000 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, entre le ruisseau de Labadie et le gave de Lescun, canton d'Accous (Basses-Pyrénées) (Pl. I, *fig.* 13 et 14).

Les travaux se réduisirent à fort peu de chose: quelques tranchées dans la couche, qui, se trouvant en étreinte dans l'anticlinal, n'a guère à cet endroit plus de 1 mètre à $1^{m},20$ de puissance. La mauvaise qualité du combustible extrait, qui contenait 75 à 80 p. 100 de cendres, fit, à juste titre, rejeter la demande de concession pour houille qui avait été introduite par les auteurs du permis de recherche.

En 1893, M. Seunes, donnant la coupe de l'anticlinal du Roc Manaudas, avec une bonne description de ce pointement calcaire par lui classé comme Dinantien, ajoute :

« Un banc de houille anthraciteuse et pyriteuse, épais « de 1 mètre environ, est intercalé dans ces calcaires « (il est marqué par un trait noir dans la coupe relevée « sur le flanc Ouest de la vallée de Labadie) (*).

(*) *Bulletin des Services de la Carte géologique de la France*, n° 34, T. IV, 1892-1893 (*Note sur la géologie de la haute vallée d'Aspe*, par J. Seunes, p. 7).

Analyses de 1896. — Vers la fin de 1896, M. Roger Manescau, de Pau, en essayant de faire brûler les matières extraites de Roc Manaudas, fut frappé de la quantité considérable de cendres blanches que laissait la calcination de ces matières. Il eut l'idée, les cendres étant fréquemment employées comme amendement, de faire analyser les matières provenant de Roc Manaudas par le laboratoire agricole de Lembeye, ainsi que par M. Aubin, chimiste des Agriculteurs de France, pour se rendre compte de leur valeur comme engrais; ces chimistes n'eurent pas de peine à reconnaître la véritable nature du soi-disant anthracite du Roc Manaudas.

Jusqu'en 1898 on s'est borné à extraire du Roc Manaudas et à broyer grossièrement quelques tonnes de phosphates destinées aux essais culturaux dans la région. Bien qu'exécutés dans des conditions tout à fait primitives, tenant au manque de chemin d'accès, ces essais ont permis de se rendre compte de la valeur comme engrais des phosphates noirs des Pyrénées, par emploi direct. J'y reviendrai plus loin d'une façon plus détaillée.

Premières prospections de la couche. — Telle était la situation lorsque j'ai visité les lieux pour la première fois, le 9 Mai 1898. Les propriétaires, comme je l'ai dit plus haut, n'avaient aucune notion sur les conditions géologiques de leur gisement. Ils en connaissaient seulement la nature. Aux termes d'une notice publiée par l'un d'entre eux, M. Ernest Lavigne (*), les phosphates du Roc Manaudas appartenaient à la formation crétacée inférieure. Les nodules, qui sont assez rares d'ailleurs dans la région du Roc Manaudas, n'étaient pas signalés à cette époque.

(*) *Phosphates béarnais de la vallée d'Accous*, par E. LAVIGNE, 24 Mars 1898. Oloron, Imprimerie Lample.

J'ai expliqué, au début de ce travail, comment j'avais pu, en partant de ces données premières, reconnaître la véritable formation des phosphates de la vallée d'Accous. Généralisant ensuite mes conclusions, j'ai recherché et découvert, pendant le second semestre de l'année 1898, la couche de phosphates noirs sur toute l'étendue des Pyrénées.

Phosphates du Tennessee. — Il me paraît intéressant, avant de terminer ce résumé historique, de dire quelques mots des phosphates du Tennessee, dont la découverte, toute récente, offre des analogies frappantes avec celle qui fait l'objet de ce travail.

Il est d'autant plus intéressant de présenter ces parallèles que la connaissance que je possédais du mode de gisement, de la nature et de l'aspect du phosphate en roche et des nodules du Tennessee, a été, comme je l'ai dit dans mon Introduction, la raison déterminante de mon premier voyage de prospection dans les Pyrénées.

En outre, la découverte des phosphates du Tennessee est venue combler la lacune que je signalais au début de ce paragraphe. Ces phosphates appartiennent, d'une manière indubitable, au terrain dévonien supérieur ou, tout au moins, aux schistes de passage entre le dévonien supérieur et le carbonifère. C'est exactement le même niveau que j'ai reconnu et vérifié par de nombreuses coupes pour la couche de phosphate noir des Pyrénées.

Il y a donc là une concordance qu'il importe de bien mettre en lumière, car elle est de nature à provoquer de nouvelles recherches sur d'autres régions dans lesquelles on a négligé jusqu'ici d'étudier, au point de vue de leur teneur en acide phosphorique, les formations dévoniennes supérieures ou post-dévoniennes.

Au point de vue industriel, il suffit, pour se rendre

compte de l'importance considérable des phosphates dévoniens du Tennessee, de jeter les yeux sur le tableau suivant, qui donne la production annuelle de cette région depuis sa mise en exploitation (1894).

PRODUCTION DES PHOSPHATES DU TENNESSEE.

ANNÉES	PRODUCTION EN TONNES
1894	17.384
1895	45.329
1896	57.846
1897	121.251
1898	320.000

On voit que la production a presque triplé d'une année à l'autre. Un fait important a été, en 1897, l'arrivée de ces phosphates sur les marchés d'Europe. 16.175 tonnes ont été embarquées à Pensacola avec des taux de frets réellement extraordinaires de bon marché. Les transports par terre sont, par contre, assez coûteux; le tarif de Mont-Pleasant, centre des expéditions, à Baltimore par exemple, n'est pas moindre que 20 francs par tonne.

Une carte récemment publiée par Rhum et O'Neal indique, pour le bassin phosphaté de Mont-Pleasant, une surface totale de 3.800 hectares, sur laquelle 1.000 hectares contiennent des phosphates à haut titre. Le rendement probable par hectare est de 8.000 tonnes (*).

Voici maintenant un résumé rapide de l'historique et de la géologie des phosphates du Tennessee. J'en emprunte les principaux éléments à une étude très complète sur ce sujet, parue, il y a trois ans, dans les *Transactions of the American Institute of Mining Engineers* (**).

(*) *Mineral Industry*, Année 1897, p 532.

(**) *The phosphates of Tennessee*, par MM. Thomas, Meadows et Lytle Brown (*Transactions A. I. M. E.*, vol. XXIV, 1894, p. 584 et suiv.).

Géologie. — Les phosphates de la région centrale du Tennessee occupent une vaste surface entre la rivière du même nom et la rivière Cumberland. Nashville est le centre autour duquel rayonnent les différentes voies ferrées qui parcourent ce bassin. Au point de vue géologique, on trouve, à la base, la série dite de Trenton (Silurien inférieur) qui règne dans toute la partie Ouest de la région, sur les bords du Tennessee. Vers l'Est au contraire, on trouve les formations dites du Niagara et du Helderberg inférieur, qui correspondent, dans l'échelle américaine des terrains, aux séries du Silurien supérieur. En tous cas, les roches qui terminent ces diverses séries sont toujours des calcaires.

La couche phosphatée fait partie du terrain dévonien qui repose directement sur les calcaires siluriens. Son épaisseur est très faible et se réduit en réalité à la couche phosphatée elle-même et à un schiste noir qui alterne, sur certains points, avec un grès de 3 ou 4 pieds d'épaisseur, qui présente aussi un caractère nettement dévonien. Au dessus commence, en stratification concordante, la série carbonifère, qui débute par une puissante formation de schistes ardoisiers atteignant souvent 70 mètres de puissance, qui contient la couche à nodules. Une formation de marnes avec bancs calcaires couronne ces schistes et forme le sommet des collines environnantes. L'ensemble du terrain n'a subi que des plissements insignifiants, de sorte que les affleurements du schiste noir donnent, sur la carte où ils sont reportés, l'illusion d'une vaste courbe de niveau.

Cette formation a été décrite d'une manière très complète par le Dr Safford, il y a environ quarante ans ; il y signalait la présence des nodules et l'existence d'une sorte de grès fétide, mais sans reconnaître dans ce dernier sa composition véritable et sa teneur en phosphate de chaux.

Découverte de ces phosphates. — La plupart des fermiers du pays, qui sont maintenant de grands consommateurs de ce phosphate noir et qui, à ce titre, en connaissent parfaitement la nature et les propriétés, l'avaient pris jusqu'à ces derniers temps pour du charbon, ou plutôt pour une indication de charbon. Cette opinion était basée sur ce que ces matières, mises dans un feu de forge, y donnent quelques signes de combustion. Ce qu'il y a de curieux, c'est que, dès 1887, le même Dr Safford avait fait analyser à la Vanderbilt University un nodule de la couche, qui lui avait donné 69 p. 100 de phosphate tribasique de chaux. Il ne fut donné aucune suite à la découverte de ce fait; ce n'est qu'en 1893 que MM. Craik et Arnold, de Columbia, mirent en évidence un lit de nodules de $0^m,45$ d'épaisseur, avec une teneur de 65 p. 100 de phosphate. Vers la même époque, c'est-à-dire en Novembre 1893, M. R.-W. Childs, de Linden, envoya à l'analyse, à Nashville, un certain nombre d'échantillons de roches, parmi lesquels ce soi-disant charbon, qu'il voulait, une fois de plus, faire essayer comme combustible. L'analyse de M. J.-C. Warton démontra que c'était du phosphate en roche mélangé de matières organiques. Ce fut le signal de la prise de possession des terrains et du commencement de l'exploitation en grand.

Caractères des phosphates du Tennessee. — Les nodules sont, en général, sphériques ou légèrement aplatis suivant le plan de schistosité. L'intérieur d'un nodule frais présente une structure finement granulaire, de couleur noire ou brun foncé. Ils se décolorent assez rapidement au contact de l'air, et la décomposition s'opère par noyaux concentriques. On n'y trouve, en général, ni restes fossiles ni noyau central de concrétion. La puissance de la couche à nodules ne dépasse pas 30 centimètres.

Le phosphate en roche est toujours nettement séparé de la couche à nodules, qui est intercalée à la base des

schistes carbonifères, tandis que le phosphate en roche est dévonien; il est sujet à des variations assez notables, tant dans son apparence que dans sa constitution. Le phosphate en roche est toujours de couleur foncée, souvent complètement noir et fréquemment coloré par des sels de fer provenant de la décomposition des pyrites. Sa texture est granuleuse ou compacte, cassante, et sa densité varie de 2,80 à 2,85.

Le phosphate en roche du Tennessee présente souvent un faciès oolithique et, parmi les grains de phosphate, on distingue facilement à la loupe un fossile très voisin du *Spirorbis amphilodes*, Dana, caractéristique du dévonien. Ce fossile est, en général, complètement phosphatisé. On y trouve aussi un grand nombre de *Lingula spatulata*, Hall. Ces dernières sont surtout fréquentes dans les parties gréseuses de la couche phosphatée.

Signalons enfin, dans les schistes noirs qui accompagnent la couche, de nombreux débris de plantes de la famille des Lycopodinées.

Analyse du phosphate en roche du Tennessee. — Je donne, à titre de comparaison, deux analyses complètes du phosphate en roche du Tennessee.

Acide phosphorique........	26.74	31.94
Oxyde de fer...............	2.32	6.92
Matières insolubles.........	6.40	13.90
Alumine....................	2.70	7.06
Chaux.	29.60	41.30
Soufre	0.00	4.00
Acide carbonique..........	0.00	1.50
Humidité..................	0.20	0.00

On voit qu'ils se distinguent par l'absence presque absolue d'acide carbonique et de chaux libre. Ils conviennent cependant à la transformation en superphosphate, sans addition de phosphates crayeux, et donnent, par le traitement à l'acide sulfurique, un superphosphate suffisam-

ment léger, facile à sécher, ne s'agglomérant pas dans les sacs.

Je dois signaler enfin, dans le même ordre d'idées, la récente découverte d'un autre grand niveau phosphaté dévonien, tout à fait comparable à celui du Tennessee, dans une autre région des États-Unis, dans l'Arkansas. Voici quelques renseignements sur ces nouveaux gisements, qui ne sont pas encore développés, mais qui présentent toutefois certaines particularités qu'il est intéressant de faire connaître, ne fût-ce qu'à titre de rapprochement en vue de mes conclusions, au point de vue géologique.

Phosphates de l'Arkansas. — Au cours des travaux d'exécution de la Carte géologique de l'Arkansas, on a reconnu que le terrain dévonien, représenté par un mince horizon, entre la formation silurienne inférieure et le carbonifère moyen (ou Mississipien), contenait des phosphates tout à fait comparables, tout au moins au point de vue géologique, à ceux du Tennessee. Cette découverte, qui date de 1896, est trop récente encore pour savoir si elle présentera un intérêt économique. La formation s'étend sur une aire extrêmement vaste, entre Buffalo City au Nord, Marshall au Sud. Les terrains ont conservé dans cette région centrale leur position originelle en lits stratifiés horizontaux, découpés par les érosions superficielles, de sorte que les affleurements sont très multipliés sur le flanc des coteaux.

M. John-B. Branner, de l'Université de Stanford (Californie), qui vient de publier une intéressante étude sur ces gisements (*), les classe dans le dévonien, tout en reconnaissant que la limite entre ce terrain de la formation carbonifère qui le couronne en stratification concordante

(*) *The phosphates deposits of Arkansas* (*Transactions of the American Institute of Mining Engineers*, vol. XXVI, 1896, p. 580 et suiv.).

n'est pas nettement tranchée. M. Branner adopte cette classification en s'appuyant sur des analogies stratigraphiques, car il n'admet pas comme caractéristique la présence des fossiles signalés déjà dans le phosphate du Tennessee (*Lingula*, *Discina*, Crinoïdes), pour les classer sans contestation dans le dévonien supérieur.

Analyses. — Voici quelques analyses de ces phosphates :

	1	2	3	4	5	6
Acide phosphorique...	26.13	26.77	29.40	29.98	31.06	31.11
Equivalent en phosphate tribasique....	56.53	58.08	64.82	65.37	67.21	67.74
Fer et alumine.......	5.89	5.86	3.08	3.87	8.01	7.05

Ces échantillons proviennent de l'extrémité orientale du bassin phosphaté de l'Arkansas, actuellement reconnu, au voisinage de la vallée d'Hickory (Comté de l'Indépendance), à 12 milles au Nord-Est de Batesville.

M. Hopkins a signalé, d'autre part, cette formation dans de nombreuses localités comprises dans les Sections 14 Nord-Ouest N°s 12, 11, 10, 9, 8. Il a constaté aussi la présence des nodules noirs au-dessus des phosphates en roche. Ces derniers, comme dans le Tennessee, ne dépassent guère 0^{m},80 à 1 mètre d'épaisseur. Cette puissance paraît d'ailleurs varier beaucoup suivant les localités.

Géologie. — Les nodules sont localisés dans le grès de Sylvamore, situé au-dessus du niveau contenant le phosphate en roche et à une certaine distance de ce dernier. Ce caractère rapproche complètement ces phosphates de ceux du Tennessee, dans lesquels j'ai déjà fait ressortir cette séparation entre les nodules et la couche exploitée de phosphate.

Voici, d'ailleurs, l'échelle de la succession des terrains de l'Arkansas.

		Mètres.
Carbonifère inférieur ou Mississipien	Groupe de Boston (schites, calcaires). Puissance...........	220
	Grès de Batesville.............	66
	Ardoises de Fayesville..........	100
	Calcaire et marnes de Bôone.	115
Dévonien Niveau phosphaté	Grès de Sylamore (nodules)....	33
	Schiste d'Eureka (phosphate en roche)......................	16
Silurien inférieur	Marbre de Saint-Clair..........	50
	Calcaire d'Izard	90
	Grès, dolomies, etc............	600

J'ai tenu à entrer dans quelques détails au sujet de ces phosphates de l'Arkansas, bien que leur valeur industrielle ne soit pas encore mise en évidence d'une manière certaine. Je me trouvais dans la même situation en 1895, lorsque j'attirais l'attention sur la région presque inconnue du Tennessee, dans ma précédente étude, parue dans cette même publication (*). Ces phosphates ont aujourd'hui leur place faite, même sur les marchés d'Europe.

Déjà des estimations de prix de revient, faites par des personnes compétentes, donnent à penser que le phosphate en roche de l'Arkansas pourra être amené à Saint-Louis, *via* Cushman, aux environs de 20 fr. 55 (4 dollars) la tonne. Voici comment s'établit ce prix :

	Francs.
Abatage, boisage......................	5.16
Concassage...........................	1.30
Transport et embarquement...........	2.60
Fret pour Saint-Louis.................	11.54
TOTAL......	20.65

Résumé. — On voit combien les caractères particuliers des phosphates du Tennessee et de l'Arkansas les rap-

(*) D. LEVAT, *Étude sur l'industrie des phosphates et superphosphates* (*Annales des Mines*, 9ᵉ série, t. VII, 1895, p. 5 et suiv.).

prochent de ceux qui font l'objet de cette étude : même horizon géologique, au passage du terrain dévonien aux schistes carbonifériens, même mélange de phosphate avec une proportion élevée de matières carbonées d'origine organique. La seule différence dans le mode de gisement tient à ce que, dans le Tennessee, les nodules forment une couche assez mince complètement séparée du phosphate en roche ; ce dernier est d'ailleurs seul exploité, la couche à nodules ayant une épaisseur moyenne insuffisante (0m,20 à 0m,30 au maximum) pour se prêter à une exploitation rémunératrice.

Le phosphate en roche lui-même ne dépasse guère une puissance totale de 0m,80 à 1 mètre dans les meilleurs endroits.

Nous verrons au contraire que, dans les Pyrénées, nodules et phosphates noirs sont réunis dans un seul et même gisement pour former une couche unique, d'une puissance très supérieure à celle qui est considérée comme normale dans le Tennesse, du moins sur un grand nombre de points et notamment dans les travaux souterrains de la mine de Las Cabesses, dont on trouvera une description détaillée dans la quatrième partie de ce Mémoire.

Il était, je crois, utile de mettre en parallèle, comme je viens de le faire, les deux grands niveaux phosphatés dévoniens, des Pyrénées et des États-Unis. Leurs caractères communs sont maintenant connus. Ainsi se trouve comblée la prétendue lacune que j'ai signalée au début de cette étude, au point de vue de l'existence de niveaux phosphatés réguliers dans le terrain dévonien.

II

NATURE DES PHOSPHATES DES PYRÉNÉES.

Phosphates noirs. — Les phosphates des Pyrénées se présentent sous la forme d'une roche noire, d'aspect souvent schisteux ou feuilleté, brillante, tachant fortement les doigts en noir et se délitant fréquemment suivant des surfaces courbes. C'est ce dernier caractère qui les différencie des schistes noirs, ampéliteux ou charbonneux, qui abondent dans le silurien supérieur des Pyrénées. Cette ressemblance a causé et cause encore de nombreuses confusions, quoique, ainsi que je l'ai dit précédemment, les phosphates se trouvent à la partie supérieure du terrain dévonien et, par conséquent, séparés nettement du silurien. Mais on sait combien sont fréquents, dans la chaîne des Pyrénées, les plissements qui ont affecté les terrains de transition, et ces plissements se sont souvent traduits par des phénomènes de transgression inverse et des chevauchements imbriqués des couches anciennes sur les terrains plus récents. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce qu'on puisse confondre, en certains points, les phosphates noirs avec les schistes noirs charbonneux du silurien, et nous en verrons plusieurs exemples au cours de cette étude. Il y a aussi dans le trias, à la partie supérieure des marnes irisées, une couche de houille impure chargée de gypse et de rognons de pyrite, qui vient aussi reposer sur le dévonien, dans les endroits où les terrains intermédiaires, houiller, permien, font défaut ou n'affleurent pas. Il y a encore là une cause d'erreur qu'il importe d'éviter.

Le phosphate noir qui ne contient pas ou peu de nodules, comme celui du Roc Manaudas, par exemple, a une dureté très variable, suivant sa composition chimique

dont il est parlé plus loin. En principe, la dureté est proportionnelle à la teneur en silice de l'échantillon. Elle est maxima dans la « lydite » ou phtanite, véritable quartz fumé, mélangé de phosphate de chaux, qui se présente comme partie intégrante de la couche sur un grand nombre de points. Lorsque le faciès schisteux prédomine, le phosphate a naturellement une teneur plus élevée en alumine, mais sa dureté est moins grande et la matière perd ses formes contournées, ses surfaces concentriques imbriquées à la façon des écailles d'un oignon, pour prendre l'aspect d'un schiste noir ordinaire.

En réalité, ces formes imbriquées courbes ne sont autre chose qu'une manifestation ou, tout au moins, une tendance à la forme noduleuse, un passage du phosphate noir sans nodules que je viens de décrire au phosphate à nodules qui constitue l'ensemble des zones riches de l'Ariège et du Salat.

Des phosphates à nodules. — Ces phosphates sont caractérisés, en effet, par la présence, dans la roche phosphatée, d'une quantité de nodules qui forment, dans certains points, le tiers ou la moitié du volume total de la couche. Entre ces nodules, la gangue phosphatée épouse la forme des centres de précipitation qui ont constitué les nodules, de sorte que l'ensemble présente un aspect analogue à celui de la *fig.* 1, Pl. I.

Dans le faciès schisteux de ces mêmes formations, les nodules sont alignés parallèlement à la stratification générale. Les schistes sont noirs, luisants ; ils tachent aussi les doigts en noir, mais moins fortement que le phosphate en roche proprement dit (Pl. I, *fig.* 2).

Nous verrons plus loin, à propos de la composition chimique de ces phosphates, les différences de teneur qui correspondent à ces diverses particularités des gisements. Elles ont leur importance, car elles servent de base à

l'appréciation de la richesse en phosphate et au triage qu'il y aura lieu de faire, dans certains cas, pour atteindre les teneurs qu'il est nécessaire de garantir pour la vente.

Phosphate quartzeux. — *Lydite avec nodules aplatis.* — Dans toute la région de l'Ariège, la couche phosphatée est accompagnée d'une façon constante par une roche particulière, formée en majeure partie de quartz compact, à cassure cornée écailleuse, de couleur noire, contenant une quantité de nodules ou, plus exactement, d'amandes très aplaties de phosphate de chaux, qui tranchent par leur couleur claire, surtout après exposition aux agents atmosphériques, sur la teinte noire de la lydite ou phtanite qui forme la gangue de ces amandes. Ces intrusions lenticulaires ont, en général, 15 à 20 millimètres d'épaisseur et 8 à 10 centimètres de longueur. Leur plan diamétral est toujours celui de la stratification de la couche.

Les *fig.* 3, 4 et 5 de la Pl. I donnent une idée de cette particularité intéressante des gisements de l'Ariège. Cette lydite étant, comme on le comprend aisément, extrêmement résistante aux agents d'érosion, forme, en général, une crête à la surface du sol et constitue un guide excellent pour la propection. C'est toujours par des débris de cette lydite, enchâssant les amandes blanches caractéristiques, qu'on est averti, même en l'absence de tout affleurement en place, de la proximité du contact phosphaté dévonien.

La lydite participe aussi à la forme noduleuse, dans son ensemble, c'est-à-dire qu'indépendamment des amandes de phosphate qu'elle contient elle affecte la forme courbe, en écailles imbriquées, que j'ai déjà signalée dans le phosphate schisteux et en roche. La *fig.* 3, Pl. I, donne une idée de cette particularité. Dans ces conditions, la lydite peut former l'enveloppe extérieure de noyaux phosphatés, ainsi que le montre la *fig.* 12 de la Pl. I.

Cette dernière constatation est intéressante, parce qu'elle démontre que la formation des nodules ou amandes a été antérieure à la concentration de l'ensemble de la masse, qui n'a eu lieu qu'après que la précipitation des phosphates autour de centres locaux avait déjà été effectuée (*).

Des nodules. — Les nodules contenus dans les phosphates noirs des Pyrénées sont tout à fait caractéristiques. Leur grosseur varie depuis celle d'une noisette jusqu'à celle du poing ; la dimension la plus commune est celle d'un œuf de dinde. Je ne parle, bien entendu, que des nodules compacts, concrétionnés ; car on peut considérer certaines parties du phosphate noir lui-même comme constituant d'énormes nodules formés d'une agglomération de couches concentriques autour d'un noyau central. J'ai isolé un de ces gros nodules, enrobé dans des couches successives de phosphate, ayant la forme d'un ellipsoïde régulier, qui pèse 43 kilogrammes et qui a $0^m,540$ de longueur de grand axe avec un diamètre de $0^m,33$ (N° 15 *bis* de la collection de l'École des Mines).

Les nodules sont formés d'une pâte, assez homogène, de couleur grise ; on y distingue fréquemment les zones concentriques de dépôt du phosphate. On trouve souvent, au centre, un débris de fossile ou un petit cristal de pyrite de fer qui a servi de point de départ. Mais ce n'est pas le cas général. Même lorsque la structure zonée n'est pas visible sur un échantillon frais, provenant de parties qui n'ont jamais été exposées à l'action des agents atmosphériques, elle apparaît dans les nodules à moitié décom-

(*) Les figures qui accompagnent le texte ont été prises sur les échantillons qui forment la collection (N° 2202) des phosphates noirs des Pyrénées que j'ai offerte à l'École des Mines de Paris. Les numéros entre parenthèses placés au-dessous de la légende de chaque figure se rapportent au numéro que porte l'échantillon lui-même dans la collection de l'École des Mines.

posés qui ont été longtemps exposés à l'air. Ils se délitent alors suivant leurs zones d'accroissement tantôt en conservant au centre une partie intacte, tantôt au contraire ils se vident, conservant une croûte extérieure solide. On trouve souvent, dans les nodules encastrés dans le rocher et exposés à l'air, la partie centrale transformée en un sable gris clair ou même tout à fait blanc, qui est constitué par du phosphate tribasique pur. C'est probablement à des phénomènes de décomposition secondaires et relativement récents de ce genre, que sont dues les concrétions mamelonnées et translucides qui avaient été analysées par M. Damour et dont j'ai parlé plus haut.

J'ai trouvé moi-même, moulé dans un creux laissé dans un bloc de phosphate noir, un nodule tendre constitué par un résidu sableux gris blanchâtre, que M. Ad. Carnot, Inspecteur général des Mines, Directeur du Laboratoire de l'École des Mines, a bien voulu analyser.

Voici les chiffres qu'il m'a obligeamment communiqués :

Eau et matières organiques	6.52
Insoluble dans l'acide	12.80
Acide phosphorique	31.98
Chaux	42.12
Magnésie	0.18
Alumine et oxyde de fer	3.25
Fluor	2.81
	99.66

Près de la surface, les fentes qui séparent les blocs de roche phosphatée sont tapissées de wavellite et de phosphates divers, qui donnent à la roche des irisations multiples. Ce fait n'a d'ailleurs rien d'étonnant, quand on songe que le phosphate noir contient une forte proportion de matières organiques qui, en se décomposant à l'air, donnent naissance à de l'acide carbonique qui agit en solution dans l'eau, comme un puissant dissolvant du phosphate de chaux.

Dans les parties tendres, schisteuses, de la couche, les nodules ont souvent conservé leur forme initiale parfaitement sphérique ; toutefois ce n'est pas le cas général. C'est sous forme d'ellipsoïdes aplatis présentant même une sorte de ligne de suture sur leur méridien principal que se rencontrent ces matières. Aussi ces nodules, simplement séparés de la gangue phosphatée qui les enrobe, par un criblage à la pelle sur une claie, ressemblent à s'y méprendre à ces agglomérés ovoïdes, faits avec des charbons maigres, qui sont maintenant d'un usage si courant pour le chauffage domestique.

Il est à remarquer que l'aplatissement des nodules est d'autant plus marqué que la matière qui les entoure est elle-même plus résistante. On ne trouve guère de nodules sphériques intacts que dans les portions schisteuses de la couche. Dans le phosphate noir, les nodules sont presque toujours aplatis, ellipsoïdaux et même déformés, mais ne forment pas d'amandes. Enfin, dans les phtanites (lydites), ils sont réduits, comme je l'ai dit plus haut, à l'état lenticulaire, avec une épaisseur qui ne dépasse pas, en moyenne, 1 à 2 centimètres.

Dans l'un ou l'autre de ces cas, la séparation entre les nodules et la gangue qui les entoure est toujours très nette. Ainsi que nous allons le voir, cette gangue est elle-même phosphatée, et c'est là un caractère qui différencie nettement les nodules de phosphate noir des Pyrénées, de ceux du gault et des grès verts ou des *coquins* de l'Argonne, dont la gangue est stérile ; mais la différence de teneur des deux éléments, nodules et ciment qui les relient est telle, que la concentration de l'élément phosphore dans les nodules, est des plus tranchées.

On voit pour conclure cet exposé, que les caractères des phosphates noirs des Pyrénées sont, comme je l'ai déjà fait remarquer à la fin de l'exposé historique, absolument identiques à ceux du Tennessee, à tel point que la des-

cription que j'ai donnée de ceux-ci, d'après les auteurs américains, pourrait être pour ainsi dire calquée sur la mienne. La seule différence à relever tient à la puissance du gisement et au mode de dépôt des nodules. Tandis que dans le Tennessee la couche à nodules, inexploitée d'ailleurs, du gisement atteint rarement plus d'un pied d'épaisseur et reste constamment séparée du phosphate en roche, dans les Pyrénées les nodules se rencontrent indistinctement dans toute la masse, avec une puissance moyenne qui atteint fréquemment plus de 10 mètres.

Densité. — La densité des diverses qualités de phosphate noir des Pyrénées est donnée dans le tableau suivant :

NATURE DES ÉCHANTILLONS	DENSITÉ	OBSERVATIONS
Phosphate noir (Roc Manaudas).........	2.57	
— Bois de Larrassiette..........	2.35	
— La Bastide (chantier de l'Arize).	2.33	
Phosphate schisteux (Larrassiette)......	2.17	38 p. 100 de carbone
— La Bastide (l'Arize)...........	2.61	
— Las Cabesses...............	2.78	
Lydite pure (gisement de la Bastide)....	2.45	
Lydite avec amandes —	2.52	
— (Celles Saint-Antoine)	2.52	
Nodule frais (Las Cabesses)............	2.78	
— (chantier de l'Arize).......	2.91	
Nodules décomposés en surface (Cazalas).	1.97	
Amandes de la lydite (Cazalas).........	2.56	

Calcination. — Calciné à l'air, le phosphate noir laisse un résidu blanc, gris ou brun rouge, suivant la proportion de fer qu'il contient. Voici un tableau qui donne la perte de poids à la calcination d'un certain nombre d'échantillons de diverses provenances.

NATURE DES ÉCHANTILLONS	PERTE de poids p. 100	COULEUR DES CENDRES
Phosphate noir (Roc Manaudas).....	17.90	brun rougeâtre.
— (Larrassiette).......	28.86	gris clair.
— (la Bastide).........	16.90	id.
Phosphate schisteux (Corbières).....	13.10	id.
— (la Bastide)....	15.36	chamois.
— (Las Cabesses).	12.85	blanc sale.
Nodules Las Cabesses..............	11.10	grise.
— (Cazalas)..................	6.20	id.
Lydite (Cazalas)...................	2.10	id.

Distillation. — La distillation des phosphates les plus chargés en matières organiques m'a donné, au laboratoire, une certaine proportion de goudron, de l'eau fortement ammoniacale et une huile de couleur foncée, analogue à celle que donne la distillation des schistes ampélitieux siluriens.

La digestion prolongée des phosphates noirs préalablement pulvérisés avec du sulfure de carbone ne m'a pas donné, après évaporation de ce dissolvant des corps gras, de résidu appréciable.

Examen micrographique. — En plaques minces, les diverses parties de gisement phosphaté des Pyrénées donnent des indications intéressantes.

M. Cayeux, préparateur du Cours de géologie à l'École des Mines, auquel je suis redevable de cette partie de mon étude, s'exprime à ce sujet comme suit :

« Les meilleures préparations sont données par la phtanite ou lydite en plaques minces. On y constate la présence d'une quantité énorme de radiolaires, dont quelques-uns, admirablement conservés, montrent leurs sections circulaires et les épines qui les caractérisent. C'est dans l'accumulation des débris siliceux de ces orga-

nismes, qu'il faut chercher l'explication de l'existence des bancs de phtanite, qui caractérisent certaines portions de gisement de phosphates de l'Ariège, et, en général, la teneur élevée en silice de ces phosphates. »

III

COMPOSITION DES PHOSPHATES NOIRS.

Je vais donner d'abord les résultats des analyses assez nombreuses que j'ai exécutées moi-même ou fait exécuter sur les phosphates noirs des Pyrénées, au point de vue de leur teneur en éléments essentiels et communs à peu près à tous les phosphates minéraux, à savoir : acide phosphorique, chaux, silice, fer et alumine, fluor, eau combinée et d'humectation.

Je donnerai ensuite des indications sur les autres éléments fertilisants qu'ils contiennent, notamment sur leur teneur en azote, en matières organiques et en potasse, qui, dans des proportions variables, se trouvent dans tous ces phosphates. A ce point de vue seul, ils mériteraient déjà une mention spéciale.

Acide phosphorique. — La principale difficulté pour l'estimation dans un gisement déterminé de cet élément d'importance capitale est que l'examen physique du minerai abattu ne renseigne que très imparfaitement sur la teneur probable en acide phosphorique de la matière. J'ai, en effet, expliqué plus haut que l'ensemble de la formation phosphatée est constitué par des matières noires, charbonneuses, d'apparence à peu près uniforme, quand elles sont mises en tas et salies par la poussière noire du chantier. D'autre part, comme nous allons le voir, la teneur en acide phosphorique des diverses portions constituant le gisement est assez variable. Comment, dans ces con-

ditions, opérer avec sécurité le triage des matières à basse teneur, de manière à pouvoir garantir, dans les produits extraits des chantiers, une teneur déterminée, sans être obligé d'analyser pour ainsi dire chaque wagon?

Remarquons d'abord que, si le triage du phosphate abattu et mélangé de poussière n'est pas pratique, l'aspect du phosphate en place, dans le gîte, permet d'avoir, *a priori*, des indications assez précises sur la teneur probable du tout-venant. J'ai expliqué précédemment, en effet, que les bonnes teneurs correspondent aux parties du gisement qui présentent l'aspect contourné précurseur de la formation noduleuse. Même en l'absence des nodules proprement dits, cette allure de la couche annonce une teneur voisine de 14 à 16 p. 100 d'acide phosphorique, chiffre convenable pour l'emploi direct en agriculture. Nous verrons plus loin que c'est dans ce mode d'application que les gisements privés de nodules, doivent trouver leur emploi le plus efficace et le plus rémunérateur.

Un chantier de ce genre est à peu près assuré de pouvoir donner une teneur régulière, car je n'ai commencé à trouver des teneurs moyennes inférieures à 12 p. 100 que lorsque j'ai analysé les matières ayant, dans la couche, l'aspect et l'allure de schistes charbonneux noirs ordinaires. Comme on le verra, ces schistes tiennent de 6 à 10 p. 100 d'acide phosphorique. Ils ne peuvent donc être mélangés impunément avec les phosphates noirs, d'aspect contourné, car ils risquent de compromettre le titre définitif du produit extrait.

Il y a donc, comme on le voit, une question de délimitation, dans la couche de phosphate noir en place, des parties à prendre d'avec celles à laisser. Ce triage présentera d'autant plus d'aléa que le gisement sera plus pauvre en nodules. Lorsqu'on ne disposera, en effet, que de phosphate noir en lamelles contournées et des schistes

phosphatés noirs, la ligne de séparation des deux qualités n'étant généralement pas nette, on pourra se trouver embarrassé pour le choix des parties à prendre et à laisser. Dans ces conditions, une exploitation serait exposée à des déconvenues sur la teneur de ses produits, si elle n'avait pas en réserve des chantiers riches pour améliorer ses teneurs faibles.

Enrichissement. — Triage. — Criblage. — Quant à l'enrichissement par moyens mécaniques, la description que j'ai donnée plus haut de ces phosphates noirs, suffit pour fixer les idées. Il n'y a aucun résultat à attendre du lavage de ces matières. Leur triage à la main n'est pas possible non plus. Seul, le criblage des nodules, dans les gisements qui en contiennent, constitue une opération simple et efficace pour séparer ces matières riches.

Je dois ajouter cependant qu'il arrivera avec ces matières nouvelles ce qui se présente avec certains minerais difficiles à distinguer de leurs gangues, comme les minerais de fer schisteux dans les schistes siluriens, les calamines pauvres dans les calcaires, etc. Le personnel ouvrier finit par saisir des caractères qui échappent aux personnes non initiées, et il n'est pas possible encore d'être initié aux particularités des gisements de phosphate noir des Pyrénées, puisque leur découverte ne date que de quelques mois et que je suis, jusqu'à présent, la seule personne qui ait pu les étudier d'une façon un peu approfondie.

Débourbage. — Je dois cependant signaler quelques essais que j'ai faits en vue de débarrasser les phosphates noirs et même les phosphates schisteux de leurs parties légères, ampélitieuses, par simple broyage et débourbage dans un courant d'eau. La plupart de ces phosphates réduits en poudre au tamis 80, se présentent sous forme d'une poussière brune plus ou moins foncée, tachant fortement les doigts. Mise en suspension dans

l'eau, cette dernière se colore en noir par les particules légères de carbone, et il reste, après traitement, un résidu grenu, d'un beau noir, ne tachant plus les doigts.

Voici les teneurs avant et après traitement, d'un schiste phosphaté, noir, luisant, de la Bastide :

Avant lavage :

Teneur en PhO^5 de la poussière non lavée : 9,76 p. 100 ;

Après lavage :

Perte de poids au traitement, 40 p. 100 ;

Teneur en PhO^5 du résidu grenu lavé : 6,10 p. 100.

On voit que c'est la partie stérile schisteuse qui est restée. La majeure partie du phosphate riche a été entraînée avec les particules charbonneuses, relativement légères, qui forme les joints du phosphate schisteux.

Importance des nodules. — La situation change d'ailleurs du tout au tout pour les gisements qui contiennent, en outre du phosphate noir et des schistes phosphatés, des nodules de phosphate tribasique enrobés dans le sein de la formation.

Teneur des nodules. — Comme on va le voir par les chiffres qui suivent, ces nodules se distinguent tout d'abord par une teneur à peu près constante et très remarquable en phosphates de chaux. Tandis en effet que la richesse en acide phosphorique des schistes noirs et même du phosphate noir subit, dans la même portion du gîte, des variations qui peuvent aller du simple au double, celle des nodules reste constamment fixée entre 60 ou 65, souvent même 70 p. 100 de phosphate tribasique de chaux.

Voici une série d'analyses instructives à cet égard :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	1	2	3	4	5	6	7
Teneur en acide phosphorique.......	32.25	35.45	28.75	32.50	31.28	28.10	29.22
Équivalent en phosphate tribasique.	70.30	77.28	62.67	70.85	68.19	61.26	63.69

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	8	9	10	11	12	13	14
Teneur en acide phosphorique......	29.17	28.4	29.5	30.01	28.11	29.40	32.15
Équivalent en phosphate tribasique..	63.59	61.91	64.31	65.40	61.27	63.09	70.10

Les analyses 1, 2, 5, 7, ont été faites sur des nodules de Las Cabesses (chantier du niveau 114) (Analyses de M. Campredon, chimiste-essayeur à Saint-Nazaire).

Les nos 3, 4 et 6 : Nodules de surface pris à la Bastide-de-Sérou (Analyses de M. le Dr Carles, Professeur à la Faculté de Médecine et à l'Ecole de Pharmacie de Bordeaux).

Les nos 8 à 11 : Nodules oxydés de surface, gisement de Cazalas. Les nos 12 et 13 : Nodules oxydés de surface, gisement de Celles-Saint-Antoine. Le no 14 : Amande oxydée de surface, provenant de la lydite de Cazalas.	Analyses de M. Levat.

On conçoit que des matières aussi riches sont, à elles seules, susceptibles d'une exploitation rémunératrice, pour peu qu'elles constituent une portion appréciable de la masse et que les épaisseurs du gisement soient suffisantes. Nous verrons plus loin que ces conditions sont amplement remplies dans l'Ariège.

La teneur en fer et en alumine de ces nodules est aussi comprise dans les limites exigées pour la vente facile des phosphates destinés à la fabrication des superphosphates. Je donne plus loin des chiffres qui fixeront les idées à ce point de vue. Le débouché normal de ces produits est donc absolument assuré, et ce, pour des quantités

pratiquement illimitées, non seulement chez les fabricants de superphosphates de la région du Sud-Ouest, mais aussi à l'étranger, en exportant par Bordeaux et Bayonne.

De la garantie des teneurs. — Mais la valeur principale de ces nodules réside moins, à mes yeux, dans la possibilité de leur vente directe aux fabriques de superphosphates que dans la faculté qu'ils donneront d'écouler des phosphates noirs pauvres, pour l'emploi direct après mouture. En un mot, ces matières doivent jouer, dans l'exploitation des phosphates noirs, le rôle de volant, de *régulateur de la teneur*, donnant ainsi à l'exploitation toute sécurité quant à la richesse en acide phosphorique à garantir dans les phosphates moulus destinés à la vente aux agriculteurs.

On sait que la vente des phosphates et plus généralement des engrais destinés à la culture est régie par une législation spéciale destinée à éviter les abus qui se sont produits pendant longtemps aux dépens des cultivateurs et surtout des petits cultivateurs, qui étaient dans l'impossibilité de se livrer à aucune espèce de vérification des teneurs en matières fertilisantes annoncées par les vendeurs. C'est là une des causes qui ont jeté sur les engrais chimiques un discrédit dont cette industrie souffre encore et qui a reculé de vingt ans les progrès agricoles basés sur leur emploi.

Grâce d'une part, au développement des syndicats agricoles, d'autre part, à la multiplication des laboratoires agronomiques dont sont munis tous les départements, on a introduit de l'ordre dans ce commerce, et ces mesures de salubrité commerciale ont contribué, pour une large part, au développement, si désirable à tous les points de vue et heureusement bien réel à présent, de l'emploi des phosphates en agriculture. Cette parenthèse était nécessaire pour expliquer l'importance qui s'attache dans les affaires de phosphate, à pouvoir garantir d'une manière absolue la

teneur en acide phosphorique des matières mises en vente. La facture garantissant la teneur accompagne la marchandise jusque chez le cultivateur, et toute erreur en moins dans le titre expose à des difficultés graves. C'est pour cette raison que les phosphates ne se vendent pas, comme les autres matières minérales, au titre réel, mais par types successifs 12/14, 14/16, 16/18, etc. En fait, on paiera au même prix un phosphate contenant 14 p. 100 ou 15,99 p. 100 d'acide phosphorique.

Conclusion. — On arrive donc à cette conclusion que les gisements de phosphate noir des Pyrénées ont une valeur d'autant plus grande que la proportion des nodules contenus sera plus élevée ; et ce, je le répète, non pas uniquement à cause de la vente assurée, à bon prix, de ces matières séparées simplement par criblage, mais surtout à cause de la garantie qu'elles donnent que, grâce à leur appoint, il sera toujours possible d'amener avec certitude les parties exploitables des gisements, c'est-à-dire les phosphates noirs, et même, dans bien des cas, les schistes imprégnés de phosphate, à la teneur exigée par le commerce ou par la clientèle.

Les gisements qui réunissent ces conditions sont fréquents tout le long de la grande bande de terrain dévonien comprise entre Foix et Saint-Girons. Nous les examinerons avec quelques détails dans la quatrième partie de cette étude.

Voici maintenant un tableau dans lequel j'ai réuni un certain nombre d'analyses pour acide phosphorique d'un assez grand nombre d'échantillons pris dans diverses localités des Pyrénées, soit dans la couche phosphatée quand je l'ai trouvée, soit dans les formations de schistes noirs ou de calcschistes qui en tenaient lieu au contact de la griotte et des schistes sus-jacents.

NUMÉROS d'ordre	NATURE ET LIEU DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS	TENEUR en Ph O5 p. 100	OBSERVATIONS
	Basses-Pyrénées.		
1	Phosphate noir du Roc Manaudas	17.52	Couche de 1m,50 de puissance
2	— Bois de Larrassiette	12.27	— de 12m,00 —
3	— schisteux, nouveau chantier de Lescun	6.10	
4	Schiste noir de Laruns (Eaux-Bonnes)	1.75	
	Ariège.		
5	Phosphate noir de Las Cabesses (nodules compris)	21.64	Echantillon de 10 tonnes
6	— (après criblage des nodules)	16.22	— —
7	— La Bastide, tout-venant, chantier supérieur	21.82	Couche de 16m,00 de puissance
8	— — — chantier inférieur	24.12	— 10m,00 —
9	Schiste noir brillant cimentant les nodules (l'Arize)	11.70	
10	— terne — —	6.17	
11	Lydite sans amandes	2.79	
	Aude.		
12	Schiste noir, route de Prades à Olette	2.50	
13	— de Durban (Corbières)	0.05	
14	Schiste noduleux de Cannes (Montagne Noire)	0.05	

On voit, comme conclusion, que seuls les phosphates contenant des nodules donnent des teneurs dépassant 20 p. 100 d'acide phosphorique dans le minerai tout-venant.

Caractères physiques. — Le phosphate noir, à formes contournées, ne contenant plus de nodules, après criblage de ces derniers, contient de 16 à 17 p. 100 d'acide phosphorique.

Les schistes noirs tombent à des teneurs beaucoup plus faibles (environ 6 p. 100), surtout lorsqu'ils ne contiennent pas de nodules. Lorsqu'au contraire on y trouve des nodules enchâssés, on obtient tout de suite des teneurs notablement plus élevées (échantillon n° 9 de la série, près de 12 p. 100).

Il est facile de se rendre compte de la raison de cette différence, par une petite expérience très simple.

En broyant dans un mortier de porcelaine sans arriver jusqu'à la poussière fine et en maniant le pilon de manière à granuler la matière plutôt qu'à la pulvériser, on obtient

une poudre dans laquelle les grains de phosphate non pulvérisés se séparent assez aisément des particules noires plus légères par simple lévigation.

C'est ainsi qu'en opérant au laboratoire avec une batée à or comme appareil de débourbage et d'élimination des fines, je suis arrivé au résultat suivant :

Schiste noir luisant, enrobant des nodules de phosphate de chaux de la grosseur d'un œuf (nodules séparés par criblage) :

Teneur avant lavage	11.70
Résidu après lavage et lévigation..........	14.10

A la loupe on distingue nettement les grains, analogues à ceux d'une craie grise de Ciply, quoique plus foncés.

Les schistes qui ne contiennent pas de nodules visibles à l'œil ne m'ont pas donné d'enrichissement sensible, par lévigation ; mais, au contraire, un appauvrissement. J'ai relaté précédemment l'expérience (Voir p. 36). Il faut, pour pouvoir compter sur un enrichissement par ce moyen, qu'il y ait eu concentration préalable du phosphate en petits grains ; et cette concentration dans la masse est mise en évidence par l'existence de nodules plus ou moins gros, mais toujours visibles à première vue dans la formation.

On réussit plus aisément la lévigation en calcinant au préalable les matières phosphatées, de manière à les débarrasser de la matière organique. Les grains de phosphate restent intacts, si la calcination n'a pas été trop prolongée, tandis que les parties schisteuses se délitent aisément dans l'eau.

Chaux. — Les phosphates noirs des Pyrénées ne font généralement pas effervescence avec les acides. Ils ne contiennent donc qu'exceptionnellement du carbonate de chaux. Leur teneur en chaux dépend, par conséquent, en

grande partie de la quantité de phosphate tribasique de chaux qu'ils contiennent.

Voici quelques analyses qui fixent les idées à cet égard :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	NODULES				PHOSPHATE NOIR		
	1	2	3	4	5	6	7
Teneur en acide phosphorique	32.25	35.45	29.22	30.67	16.22	17.11	14.44
Teneur en chaux......	46.40	49.60	42.20	42.81	26.00	27.90	19.10

1 et 2 : Analyses de M. Campredon ;
3 et 5 — de M. le professeur Carles ;
4, 6 et 7 — de M. Levat.

Silice. — Les phosphates noirs ont une teneur en silice qui varie considérablement suivant la nature des gangues, depuis la silice presque pure dans les lydites sans amandes jusqu'à 5 à 6 p. 100 dans certains nodules. C'est d'ailleurs un élément inerte qui ne joue qu'un rôle secondaire, tant dans l'emploi direct que dans la fabrication des surperphosphates.

Fer et alumine. — Il n'en est pas de même pour le fer et l'alumine. Il est démontré aujourd'hui que l'acide phosphorique combiné avec ces bases est tout aussi facilement assimilé par les végétaux que le phosphate tribasique de chaux. C'est en grande partie une question de fine mouture et aussi d'état moléculaire primitif. Il n'en est pas moins vrai que, pour la fabrication de superphosphates, où les usages commerciaux font redouter la rétrogradation du titre produite par la présence des bases Al^2O^3 et Fe^2O^3, les fabricants exigent une faible teneur de ces deux éléments dans les phosphates qu'ils achètent pour les transformer en superphosphates.

Voici quelques analyses qui donnent un aperçu des teneurs en fer et en alumine des phosphates noirs des Pyrénées :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	NODULES			PHOSPHATE NOIR		
	1	2	3	4	5	6
Teneur en fer.........	0.95	0.40	1.20	1.49	9.10	1.40
— alumine....	0.83			1.00		1.45
TOTAL.......	1.78	0.40	1.20	2.49	9.10	2.85

1, 2 et 4 : Analyses de M. le professeur Carles (provenance : Las Cabesses) ;

3 et 6 : Analyses de M. Levat (provenance : la Bastide) ;

5 : Analyses de M. le professeur Auriol, de Genève (provenance : Roc Manaudas).

Fluor. — M. Carnot, Inspecteur général des Mines, Directeur du Bureau des Essais de l'École des Mines de Paris, a bien voulu se charger de la partie de l'étude des phosphates des Pyrénées, relative à leur teneur en fluor.

Le résultat de ses analyses a été conforme aux prévisions que ses travaux antérieurs désormais classiques, parus dans les *Annales des Mines* sous sa signature, permettaient de prévoir (*).

La publication de ces travaux a fait faire un grand pas à la théorie de la formation des gisements de phosphates, tant concrétionnés que sédimentaires, en démontrant que la formation de l'apatite ou fluo-phosphate de chaux est un fait normal, corrélatif du dépôt des phosphates de

(*) AD. CARNOT, *Recherches sur la composition générale et la teneur en fluor des os modernes et des os fossiles* (*Annales des Mines*, 9e série, t. III, p. 155 et suivantes).

chaux dans les eaux salées et chargées de matières organiques. La fluoration des phosphates sédimentaires peut avoir été dans certains cas, comme en Floride par exemple, poussée au-delà de la teneur en fluor des apatites, de même qu'elle peut être restée au-dessous du chiffre normal ; mais ces variations sont toujours assez faibles.

Pour les phosphates noirs des Pyrénées, la loi se vérifie d'une manière presque mathématique.

Voici, en effet, les analyses complètes de deux nodules : l'un (n° 1 du tableau) provient du chantier de l'Arize, l'autre (n° 2) est un nodule décomposé tendre, ramassé à la surface du sol, à Cazalas.

Analyse complète de deux nodules :

CORPS DOSÉS	N° 1	N° 2
Eau et matières organiques	8.36	6.52
Insoluble dans l'acide	13.85	12.80
Acide phosphorique	30.52	31.98
Chaux	40.10	42.12
Magnésie	0.25	0.18
Alumine et oxyde de fer	4.10	3.25
Fluor	2.70	2.81
	99.88	99.66

Les nodules répondent, comme on le voit, *exactement* à la composition normale de l'apatite. En calculant, en effet, le fluor d'après l'acide phosphorique (c'est-à-dire en divisant par 11,21 les nombres trouvés pour l'acide phosphorique), on obtient 2,72 et 2,81. Il est difficile de trouver une identité plus complète. M. Carnot a trouvé, d'autre part, dans les phosphates noirs du Tennessee, dont il a fait aussi l'étude au point de vue du corps qui nous occupe, une teneur en fluor notablement supérieure à celle que donne le calcul basé sur l'apatite normale, ce qui suppose

l'existence, dans le minéral, d'une quantité notable de fluorure de calcium en dehors du composé fluo-phosphaté correspondant à l'apatite (*).

Eau et humidité. — Le phosphate noir, en nodules ou tout-venant, ne contient pas d'eau de combinaison; l'humidité varie naturellement avec la nature physique des produits et l'état d'assèchement du chantier. L'humidité dans les phosphates schisteux, exploités au niveau 114 dans la mine de Las Cabesses, est d'environ 10 p. 100 à la sortie de la mine. Après séchage à l'air, cette teneur s'abaisse à 4 ou 5 p. 100.

Il faudra néanmoins faire un séchage préalable pour opérer convenablement la mouture et éviter les engorgements dans les meules; mais cette opération, n'ayant à éliminer que de l'eau imbibant superficiellement la matière, ne présentera aucune des difficultés qui accompagnent le séchage des phosphates crayeux du Nord de la France et de l'Algérie, qui sont de véritables éponges, exigeant un lavage et un séchage dispendieux pour arriver au degré de dessiccation exigé par les acheteurs.

Matières organiques. — On doit s'attendre, avec des pertes par calcination, aussi élevées que celles que j'ai signalées dans mon tableau de la page 32, étant donné surtout que les phosphates noirs ne contiennent ni eau combinée ni acide carbonique, à y trouver une proportion élevée de matières organiques, ou, pour parler plus exactement, de matières carbonées plus ou moins hydrogénées, de houille en un mot. L'aspect seul de la matière, sa densité, la couleur noire de la poussière, permettent de s'y attendre.

(*) Ad. Carnot, *Sur les variations observées dans la composition des phosphates* (*Annales des Mines*, 9e série, t. X, p. 180).

Les phosphates friables sont les plus riches en matières organiques. Puis viennent les phosphates noirs, lamelleux, contournés, ensuite les nodules et enfin les phosphates siliceux; la lydite pure vient, en dernier lieu, avec une perte à la calcination de 2,10 p. 100 seulement.

Il sera intéressant de chercher à se rendre compte de la nature réelle de ces matières organiques. Les travaux récents de M. C.-Eg. Bertrand (*) sur les charbons organiques amorphes, la distinction que ce savant est arrivé à établir entre les charbons d'algues et les charbons à schistes organiques, peuvent recevoir dans l'étude des phosphates noirs des Pyrénées, une application des plus heureuses. C'est un travail que je me propose d'aborder ultérieurement. Il est à remarquer, d'ailleurs, que cette association des phosphates avec des matières organiques dans des gisements sédimentaires n'est pas un fait nouveau. M. Thomas l'avait déjà signalé dès 1885, dans certains phosphates éocènes de la Tunisie :

« Certaines couches (des marnes brunes phosphatées) « peuvent contenir jusqu'à 7 et 8 p. 100 d'une matière « organique, qui leur donne une consistance grasse et « onctueuse, mais qui n'est soluble ni dans le sulfure de « carbone, ni dans la benzine (**). »

Sans insister davantage, en ce moment, sur cette question de la nature même des matières organiques qui accompagnent le phosphate noir des Pyrénées, je me bornerai à donner ici quelques analyses établissant la proportion de ces matières dans le phosphate en roche et dans les nodules.

(*) C.-Eg. Bertrand, *Note sur les charbons humiques* (*C. R.*, séance du 14 Novembre 1898); *Les charbons humiques et les charbons de purins* (*Trav. et Mém. de l'Université de Lille*, T. VI, n° 21).

(**) P. Thomas, *Gisements de phosphates de chaux des hauts plateaux de la Tunisie* (*B. S. G. F.*, Année 1891, p. 374).

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	PHOSPHATE NOIR					NODULES	
	1	2	3	4	5	6	7
$PhO^5 3CaO$	27.34	38.30	28.75	21.82	12.27	61.26	70.30
Mat. organiques..	29.69	27.92	29.08	16.90	28.86	8.68	6.40

1 : Analyse de M. Émile Aubin, chimiste de la Société des Agriculteurs de France (provenance : Roc Manaudas) ;
2 : Analyse de M. Lebrun, professeur d'Agriculture à Lembeye (provenance : Roc Manaudas) ;
3 : Analyse de M. Henri Auriol, professeur d'Agriculture à Genève (provenance : Roc Manaudas) ;
6 : Analyse de M. le professeur Carles (provenance : Las Cabesses) ;
4 et 7 : Analyse de M. Levat (provenance : La Bastide) ;
5 : Analyse de M. Levat (provenance : chantier Larrassiette) (Lescun).

Les schistes luisants contiennent, en moyenne, de 12 à 13 p. 100 de matières organiques ; enfin j'ai déjà dit que la lydite pure ne donne qu'une perte insignifiante de 2 p. 100 à la calcination.

Azote. — Pour compléter l'examen des principaux éléments constitutifs des phosphates noirs, il me reste à parler de la présence constante de l'azote dans ces matières. La teneur est assez régulière et comparable, somme toute, à celle des houilles ordinaires ; c'est dire qu'elle ne dépassera guère 5 à 6 millièmes. Je dois dire cependant que M. Lebrun, Professeur d'Agriculture à Lembeye (Basses-Pyrénées), a trouvé, dans un échantillon provenant du gisement du Roc Manaudas (commune d'Accous), une teneur exceptionnellement élevée de 1,77 p. 100, soit $17^{kg},70$ d'azote par tonne (résultat de deux analyses concordantes). Je n'ai pas pu retrouver d'analyse comparable, même de loin, au résultat annoncé par ce chimiste.

Voici un tableau donnant les teneurs en azote obtenues avec des échantillons, non choisis, de phosphate noir :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	PHOSPHATE NOIR				NODULES
	1	2	3	4	5
Teneur en acide phosphorique p. 100.............	17.59	17.92	13.19	30.52	28.10
Teneur en azote (pour 1.000).	2.90	3.40	5.85	1.00	2.80

1 et 2 : Analyses de M. E. Aubin (provenance : Roc Manaudas);
3 : — M. Henri Auriol (gisement du bois de Larrassiette, Lescun);
4 : Analyse de M. Ad. Carnot (chantier de l'Arize);
5 : Analyse de M. le professeur Carles (Las Cabesses).

Les échantillons pris à la surface du sol ne donnent que des traces d'azote. Il faut, pour obtenir la teneur réelle de cet élement, opérer sur des échantillons qui n'aient pas été soumis à l'influence oxydante et prolongée des agents atmosphériques.

L'azote, dans ces matières, se trouve entièrement à l'état d'azote organique. La recherche de l'azote nitrique a été faite à plusieurs reprises ; elle a toujours donné un résultat absolument négatif.

Potasse. — Je citerai enfin, comme dernier élément intéressant, la présence de la potasse dans les phosphates noirs. Elle s'y trouve, pour la majeure partie, à l'état insoluble et, par conséquent, d'une assimilabilité douteuse ou tout au moins très lente par les végétaux. Toutefois on constate que certains échantillons ont donné une proportion assez notable de potasse soluble dans l'eau.

Voici les chiffres :

NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS	PHOSPHATE NOIR				NODULES
	1	2	3	4	5
Potasse totale	0.43	2.88	1.69	1.06	0.55
— soluble dans l'eau...........	0.0096	0.50	0.30	non dosé	0.20
Rapport : $\frac{\text{P. soluble}}{\text{P. totale}}$	2.20 p. 100	17 p. 100	17 p. 100	»	36 p. 100

La potasse que renferment les nodules est, comme l'indiquent les chiffres de ce tableau, à peu près deux fois plus soluble dans l'eau que celle du phosphate en roche.

Analyse complète. — Voici, pour résumer ce qui précède, réunies en un seul tableau comparatif diverses analyses complètes des phosphates noirs des Pyrénées.

CORPS DOSÉS	PHOSPHATE NOIR		NODULES	
	1	2	3	4
PhO^5	16.22	13.19	29.22	28.10
SiO^2 et silicates insolubles..	45.55	38.69	14.60	non dosé
CaO	26	7.23	42.20	33.26
Fe^2O^3....................	1.49	9.10 (Fe²O³ et Al²O³)	0.95	0.40 (Fe²O³ et Al²O³)
Al^2O^3....................	1.00		0.83	
Az (organique)	0.052	0.585	non dosé	0.28
KO (totale)...............	0.43	1.06	—	0.55
KO (soluble dans HO)	0.0096	non dosé	—	0.20
Matières organiques........	5.058	29.08	8.68	non dosé
Humidité	4.25	1.65	»	»

IV

DESCRIPTION DES GISEMENTS.

Je décrirai successivement, en allant de l'Ouest à l'Est, les gisements successifs de phosphates noirs que j'ai reconnus ou découverts dans le courant de l'été et de l'automne de 1898.

Gisements de la vallée d'Aspe (Basses-Pyrénées). — *Géologie.* — Le terrain dévonien supérieur représenté surtout par son étage griottique affleure en deux endroits dans la vallée d'Aspe, à savoir : en premier lieu, près d'Urdos, dans la vallée du Gave d'Aspe proprement dit, et ensuite entre Lescun et Lhers dans la vallée du Gave de Lescun et de ses affluents, les ruisseaux de Labadie et de Labrenère.

Les phosphates n'ont été reconnus jusqu'ici que sur ce dernier pointement.

Les crêtes élevées qui séparent les deux vallées sont formées de calcaires crétacés, qui reposent en stratification discordante sur les terrains de transition. C'est probablement la raison qui a pu faire croire à l'âge crétacé des phosphates d'Accous.

Le plan d'ensemble de cette formation et la coupe transversale du bassin sont donnés à la Pl. I, *fig.* 13 et 14.

L'angle formé par le cours du ruisseau de Labadie, premier affluent de droite du Gave de Lescun, et ce dernier cours d'eau, est couronné par une sorte de plateau élevé qui porte le nom de plateau de Lhers, du nom du hameau qui l'occupe. A l'extrémité Sud de ce plateau, à 200 mètres environ au Sud de la ferme de Garcet, se dresse, à 60 mètres au-dessus du niveau du plateau, un piton formé par un anticlinal aigu de calcaire dévo-

nien qui passe, vers son extrémité méridionale, sous la montagne de Las Gourgues, formée de schistes houillers, montagne dont le versant Sud fait partie du bassin du ruisseau de Labrenère, autre affluent de droite du Gave de Lescun.

Gisements du Roc Manaudas. — Ce piton porte dans le pays le nom de Roc Manaudas. C'est grâce à cet anticlinal que la couche phosphatée se trouve mise en évidence sur le flanc du Roc Manaudas, et c'est grâce à ce soulèvement remarquable, signalé par tous les géologues qui ont écrit sur la région, qu'on a pu tenter quelques recherches sur cette couche, recherches qui. comme je l'ai dit dans l'historique qui précède, avaient pour objet la découverte de l'anthracite ou de la houille.

Ce qu'il y a de plus curieux dans ce gisement phosphaté, le premier qui ait été reconnu en date, c'est qu'il constitue en réalité, comme on le verra plus loin, un accident dans la formation phosphatée qui se trouve, géologiquement parlant, au-dessus et par conséquent en dehors du calcaire dévonien ou griotte, au contact de ce calcaire et des schistes sus-jacents et non au sein de ces calcaires eux-mêmes. Ce n'est que dans les régions plissées, tourmentées, que le phosphate a été injecté dans les plissements calcaires. Nous en verrons des exemples tout à fait probants dans les coupes que je donne pour Las Cabesses. Le Roc Manaudas est, en un mot, une forme accidentelle du gisement normal des phosphates noirs des Pyrénées.

C'est là un point important à bien élucider; car le gisement du Roc Manaudas, s'il était seul connu, tendrait à donner une notion inexacte du niveau phosphaté et à faire diriger les recherches pour retrouver le prolongement du niveau, non pas sur le contact des schistes, mais au sein même du calcaire.

La coupe en travers Est-Ouest de la vallée a permis

de reconnaître le gisement sur l'autre versant de la vallée de Lescun, derrière le village de Lescun, où le gîte se trouve bien dans sa disposition normale au contact entre schiste et calcaire.

On a ainsi la coupe générale de la vallée de Lescun, représentée *fig*. 13, Pl. I, qui complète la coupe analogue du Roc Manaudas donnée par M. Seunes, dans son ouvrage déjà cité.

Le calcaire de Roc Manaudas n'a pas l'aspect caractéristique de la griotte franche. C'est un calcaire gris, à cassure esquilleuse, parfois amygdalin, surtout au voisinage de la couche phosphatée. Au toit de cette dernière se trouve un banc épais de $0^{m},20$ environ, pétri de fossiles.

J'y ai trouvé notamment le *Spirifer Verneuili* et des articles d'encrines par masses compactes, ce qui caractérise le dévonien supérieur. Le faciès griottique du calcaire dévonien supérieur, si caractéristique dans toute la partie orientale des Pyrénées, fait d'ailleurs défaut dans toute la région occidentale. Il ne se manifeste guère qu'à l'Est du méridien de Montrejeau.

La puissance de la couche phosphatée de Roc Manaudas ne dépasse pas 1 mètre à $1^{m},50$. La nature du minerai est du phosphate noir contourné avec de très rares nodules de petites dimensions. L'analyse de ces matières a été donnée précédemment.

Au-delà du ruisseau de Labrenère, la couche phosphatée prend plus de régularité et plus d'épaisseur. Elle se rapproche aussi de son gisement normal, entre schiste et calcaire, et au lieu dit bois de Larrassiette, les schistes se trouvent au pied de l'escarpement sur lequel un chantier a été ouvert dans le phosphate. Ces schistes alternent dans cette région avec des bancs de grès résistants, qui forment, en face du chantier en question, une pyramide ou aiguille pointue, qui se voit depuis le village de Lescun.

J'ai donné la coupe de ce gisement dans ma Note au Congrès de Nantes.

Gisement du bois de Larrassiette. — Le phosphate de Larrasiette se présente sur une épaisseur de plus de 8 mètres. Il ne contient pas de nodules et appartient au type schisteux rubanné. Je n'y ai pas trouvé de fossiles.

Ce chantier est situé à 5 kilomètres en ligne directe du confluent du Gave de Lescun avec le Gave d'Aspe.

Sur l'autre rive du Gave de Lescun, en face par conséquent des deux affleurements que je viens de décrire, on vient d'ouvrir un chantier sur la couche phosphatée, au contact des schistes et des calcaires dévoniens. C'est le seul chantier, parmi tous ceux qui ont été entamés jusqu'ici dans le bassin de Lescun, où les nodules se présentent en quantité appréciable, environ 5 p. 100 du volume de la masse. Une galerie a été ouverte pour faire une reconnaissance dans l'intérieur et voir si la teneur s'améliore. Ce chantier est établi au-dessus de la route carrossable qui s'élève par des lacets multiples depuis le pont du Rey, moulin installé sur le cours inférieur du Gave de Lescun, à 1 kilomètre environ de son confluent, jusqu'au village de Lescun, situé à 1.000 mètres au-dessus du niveau de la mer. C'est aussi la cote moyenne des divers chantiers que je viens de passer en revue.

Résumé. — On voit, en résumé, que les phosphates dits d'Accous ou de Lescun dépendent d'un grand synclinal qui forme la vallée de Lescun, qui s'ouvre en s'évasant vers le Sud. La formation schisteuse qui couvre la partie centrale de ce bassin est recouverte par les terrains crétacés dont font partie les hauts sommets de la Matche, du Pic d'Anie, etc.

Moyens de transport. — La voie naturelle par laquelle ces phosphates trouveront leur débouché est la vallée d'Aspe, par laquelle doit passer le chemin de fer projeté

entre l'Espagne et la France par le col d'Urdos (tunnel de Canfranc). La première section de cette ligne, actuellement soumise aux études, va d'Oloron à Accous (28 kilomètres). De ce village au confluent du Gave de Lescun on compte 5 kilomètres. Enfin les gisements se trouvent dans un rayon variant de 3 à 4 kilomètres, en ligne directe, de ce dernier point, ce qui les met, en définitive, à 32 ou 35 kilomètres de la gare d'Oloron, avec une route présentant, sur certains parcours, des contre-pentes assez prononcées, bien que dans son ensemble elle suive la pente générale de la vallée d'Aspe. Les différences de niveau considérables — plusieurs centaines de mètres — entre les affleurements de phosphate et la route, faciliteraient l'établissement de transport par câbles aériens automoteurs ou par plans inclinés.

Autres affleurements carbonifères. — On retrouve le calcaire dévonien dans la vallée du Gave d'Aspe, depuis Urdos jusqu'au col au-dessous duquel est projeté le tunnel de la future voie franco-espagnole. Il est formé dans cette région par une série de calcaires noirs alternant avec des grès et des schistes noirs ardoisiers. Le niveau phosphaté n'y apparaît pas, caché probablement par les terrains supérieurs.

M. Seunes cite cependant un bombement du dinantien au Nord des bains de Labérouat, formé de schistes et de calcaires amygdalins contenant à la base un lit de schistes charbonneux. Ce point n'a jusqu'ici été l'objet d'aucun travail de recherche.

Vallée des Eaux-Bonnes. — J'ai reçu de cette vallée un échantillon noir argileux, contenant des quantités insignifiantes d'acide phosphorique (moins de 2 p. 100). Le gisement est à peu de distance de Laruns, au contact de la griotte. Il n'a été fait, vu la faible teneur de l'échantillon, aucun travail de reconnaissance.

Vallées de la Garonne et de Luchon (Haute-Garonne). — La griotte donnant lieu, dans toute la région de Saint-Béat, Martignac, Cierp, etc., au confluent de la Garonne et du Gave descendant de Luchon, à des exploitations importantes de marbre, je me suis empressé d'aller examiner le contact entre cette formation et les schistes sus-jacents.

Le gisement classique de Cierp, qui forme un grand anticlinal visible depuis le chemin de fer, comprend plusieurs assises concentriques de griotte. La couche extérieure est formée d'un calcaire compact, blanc, maculé de rouge; la griotte d'un rouge vif, qui est l'objet principal de l'exploitation, reste au centre du pli.

Le grès rouge, considéré comme triasique, recouvre le pli vers le Nord. Cependant, dans les éboulis du contact, on constate la présence d'une assise très mince de schistes argileux gris bleuâtre et d'un grès à grains fins, s'écaillant par plaquettes, qui forme le terme de passage.

Le dévonien supérieur est beaucoup plus développé dans le Val d'Aran ; mais il est composé aussi de schistes bleuâtres et de grès.

Un peu au-dessus de Marignac, il existe une dolomie roussâtre dévonienne, couronnant la griotte et cachée en majeure partie par les éboulis de grès rouge et des poudingues qui se sont formés aux dépens de ce grès.

En résumé, dans la région considérée on passe directement de la griotte aux grès rouges, et les points où le terme de passage entre ces deux formations est resté visible ne montre que des schistes bleuâtres et des grès, sans traces de couche phosphatée.

La présence de la couche à nodules dans ce mince témoin schisteux, entre griotte et grès rouge, avait été signalée dès 1865, par M. Hébert.

Ce géologue a recueilli en effet, à Cierp, « au-dessus

« des calcaires à goniatites du dévonien supérieur, des « *nodules noirs paraissant appartenir à des fruits*. Ces « nodules se trouvent dans un lit mince, servant de base « aux grès rouges de cette localité (*) ».

Gisements de Saint-Girons à la Bastide-de-Séron et à Foix (Ariège). — *Situation*. — Je donne (Pl. II, *fig.* 1) un plan général, à l'échelle de $\frac{1}{220.000^e}$, de la longue bande de terrain dévonien qui s'étend sans interruption depuis Saint-Girons jusqu'aux environs de Foix, au col de Bouich, où elle est arrêtée par le grand massif granitique de la Bargillière, pour reprendre ensuite de l'autre côté de l'Ariège, aux environs de Saint-Antoine et de Celles, formant ainsi deux bassins allongés, séparés l'un de l'autre par l'Ariège. J'ai découvert les phosphates dans l'une et l'autre de ces formations.

Comme disposition générale, je dirai que cette bande dévonienne Saint-Girons-Foix, aussi bien que celle de Saint-Antoine, ont l'ensemble de leur direction orienté suivant une ligne Est-Ouest; qu'elles s'appuient toutes deux, au Sud, sur les schistes siluriens qui forment les contreforts de la chaîne centrale des Pyrénées dans cette région et que leur bord septentrional est recouvert par des terrains secondaires, le Trias en général.

Géologie. — La géologie de cette région a été l'objet de travaux assez nombreux. Elle est intéressante à plusieurs titres. D'abord la multiplicité des terrains d'âges très divers qu'on rencontre sur des espaces relativement restreints, rend nécessaire, pour éviter les confusions, une étude attentive des formations souvent très réduites comme épaisseur, qui peuvent représenter cependant tout un étage géologique. Ensuite cette région est certaine-

(*) *B. S. G. F.*, 2e série, t. XXIII, année 1865-1866, p. 304.

ment une des plus minéralisées et des plus intéressantes de toutes les Pyrénées françaises.

On sait, en effet, que des mines de fer et de plomb y ont été exploitées de temps immémorial. Des découvertes récentes et heureuses sont venues attirer l'attention sur cette région. En 1890, M. Seguélas a découvert le gisement de carbonate de manganèse de Las Cabesses près Rimont, unique dans son genre, activement exploité depuis cette époque, donnant, après calcination, un minerai d'une pureté exceptionnelle, et très pauvre en silice, qui commande les prix les plus élevés sur la cote de ce métal. Ce gisement se trouve dans la griotte, presque au contact des schistes à phosphate, comme on le verra d'après la coupe que je donne plus loin. Enfin on vient de concéder récemment une mine de cuivre gris très argentifère à Alezen, dont les chantiers, poussés à l'heure actuelle à 70 mètres au-dessous de la surface du sol, donnent des minerais tenant jusqu'à 5 et 7 kilogrammes d'argent à la tonne de minerai.

Travaux géologiques sur la région. — Le premier travail complet sur cette intéressante région a été publié en 1885 par M. Mussy (*), qui, dans son *Texte explicatif de la Carte géologique et minéralogique de l'Ariège*, s'exprime comme suit au sujet des schistes qui recouvrent la griotte entre Foix et Saint-Girons.

« *Environs de la Bastide-de-Sérou.* — Au méridien de
« Berny et Montredon, les calcaires dévoniens avec bancs
« intercalés de schistes violacés ferrugineux reposent en
« stratification régulière sur les schistes siluriens et sup-
« portent, sous un angle de 40 à 45°, *les schistes terreux*
« *supérieurs* qui, à leur tour, plongent nettement sous les
« assises des grès du trias.

(*) Mussy, Ingénieur en Chef des Mines, *Carte géologique et minéralogique de l'Ariège, avec texte explicatif*. Foix, 1885.

« Plus loin, vers Bardies, en se rapprochant de « l'Arize, *les schistes terreux augmentent d'épaisseur* « (c'est l'emplacement actuel du grand chantier de « l'Arize) ; vers leur contact avec les grès bigarrés ils « *deviennent siliceux* (c'est la phtanite à amandes) et « enclavent quelques magmas ophitiques très quartzeux ; « leur pendage, au centre de la formation, oscille autour « de la verticale.

« Sur la rive gauche de l'Arize, au méridien de « Guinou et Nesars, *les schistes terreux sont toujours* « *puissants*. Leur contact avec les grès bigarrés se fait « par des terres rougeâtres ferrugineuses et plonge au « Nord de 70° ; au delà, sur le coteau, les schistes sont « presque verticaux ; vers l'Est près l'Arize, entre les « grès et ces derniers, règne sur plus de 100 mètres une « assise de $1^{m},50$ *de couches terreuses et charbonneuses* « *avec indices légers de charbon*.

« En remontant l'Arize, vers Méras, entre les assises « inférieures des schistes terreux et les calcaires dévo- « niens, sont des *terres charbonneuses assez épaisses*, qui « s'étendent sur la rive droite de la rivière et à quelques « mètres au dessus.

« Plus loin, vers Larbont, les schistes terreux sont « déposés dans un pli des ondulations dévoniennes, comme « l'indique le pendage en sens inverse des assises à leurs « deux extrémités. »

M. Mussy, qu'un séjour prolongé dans la région avait familiarisé avec les terrains très variés qui la couvrent, avait parfaitement reconnu, dès cette époque, que cette formation schisteuse se prolongeait au-delà de Larbont, du côté de Rimont.

« Au-delà de Tournay, dit-il, la bande dévonienne « Nord disparaît, et tous les hauts coteaux et profonds « vallons de Rimont, désignés sous le nom de Serre-de- « Mouréou, sont constitués par *les schistes terreux*, *qui*

« *prennent une puissance énorme et affleurent vers*
« *Supéry sur plus de* 3 *kilomètres*, en reposant au Sud
« sur les calcaires dévoniens de Riverenert et supportant
« au Nord jusqu'au bord du Salat, en contact direct, les
« couches gréseuses et argileuses du trias; ces schistes
« forment toute la masse des hauts coteaux d'Eychenne,
« élevés de plus de 900 mètres entre les vallons de Rivere-
« nert et du Baup, et vont se terminer sur les bords du
« Salat, à Monpla, en amont de Saint-Girons. »

La conclusion de cette étude était que ces « schistes noirs » occupaient dans l'Ariège la place du terrain houiller. La présence des nodules n'était pas signalée.

A la fin de 1883, M. J. Roussel signalait dans ces schistes le *Productus giganteus*, et M. le Prof. L. Lortet confirmait peu après, par une Note en date du 4 Août 1884, que les schistes de Larbont appartenaient au houiller inférieur. Il traçait, à ce propos, dans un petit ouvrage devenu rare (*) un contour très exact du dévonien et du carbonifère, non seulement entre Saint-Girons et Foix, mais encore au Sud-Ouest de cette ville, entre Saint-Antoine et Freychenet. Dans ce dernier bassin, M. Mussy avait attribué au houiller des schistes noirs siluriens, erreur qui, comme je l'ai signalé dès le début de ce Mémoire, est aisément explicable.

Les contacts entre dévonien et schistes carbonifères ont été, grâce à ces deux géologues, déterminés d'une manière à peu près complète, et je n'ai eu à relever, dans le travail de M. Roussel, que ces différences d'ordre secondaire dans la forme de ces contacts. Ce sont ces contours, rectifiés sur le terrain, que je donne à la Pl. II, *fig.* 1, où j'ai figuré à l'échelle de $\frac{1}{220.000}$ les divers

(*) J. Roussel, *le Dévonien et le Carbonifère de Larbont et de Saint-Antoine*, 1 vol. in-8°. Foix, Avril 1885.

affleurements dévoniens et carbonifères qui contiennent les phosphates.

M. Roussel attribue les *schistes carburés* de Larbont, ainsi que ceux d'Esplat, du Coch et du pic d'Eychenne à l'Est, au carbonifère. On y trouve, dit-il, en abondance, des *Productus giganteus*, des *Spirifer*, des Encrines, des Polypiers et *quelquefois de la houille.*

« Vers Castelnau-Durban, ajoute M. Roussel, existent « des *schistes carburés et fossilifères*, que M. Mussy rap- « porte au carbonifère (j'ai, en effet, cité précédemment « ce passage); mais, à Larbont, je les ai retrouvés sous « une couche de calcaire à *Atrypa* et à *Spirifer;* ils « appartiennent donc au dévonien inférieur.

M. Roussel a été, on le voit, induit en erreur sur ce point par suite de la reproduction exacte du phénomène déjà signalé au Roc Manaudas et que je vais signaler aussi à la mine de Las Cabesses, à savoir des intrusions lenticulaires de phosphate noir dans les anticlinaux et dans les fractures de la griotte.

Voici maintenant une description rapide de la forme qu'affectent les contacts du dévonien avec les terrains encaissants. Je donnerai ensuite la position du niveau phosphaté dans le périmètre considéré.

J'ai dit déjà que, en thèse générale, le dévonien repose par son bord Sud sur les schistes siluriens et est recouvert, sur son bord Nord, par des terrains secondaires; trias et permien pour la bande Saint-Girons-Foix; trias seulement pour le bassin de Saint-Antoine.

Dévonien de Saint-Girons à Foix. — Il forme une longue bande de 26 kilomètres de longueur, à partir du Salat, sur la rive gauche duquel il se prolonge encore pendant 2 à 3 kilomètres vers l'Ouest. De l'autre côté, à l'Est, il s'arrête à 1.800 mètres environ avant d'arriver au village de Saint-Martin-de-Caralp. La largeur maxima

de cet affleurement, en face de Castelnau-de-Durban, atteint 4 kilomètres.

Sur tout ce parcours, le dévonien forme deux îlots de dimensions très différentes, séparés par les schistes, attribués par les auteurs susnommés au Carbonifère.

La bande principale règne sur toute la partie Sud, en s'appuyant constamment sur le silurien. Son bord antérieur forme une sorte de golfe profond au Sud de Cazalas, revient vers l'Ouest jusqu'à la ferme dite de Sarrat, pousse de là une ramification nouvelle vers le Nord et revient ensuite dans une direction à peu près rectiligne Ouest-Est, passe au Nord d'Esplat, au Sud du château de Larbont et aboutit enfin au pied de l'escarpement dévonien qui porte la chapelle d'Alzen.

L'autre pointement forme une bande étroite entre les deux ruisseaux de l'Artillac et de l'Arize. Le bord septentrional de cette bande est recouvert par le trias et le permien. Sa largeur ne dépasse pas 8 à 900 mètres.

Dévonien de Celles et de Saint-Antoine. — Le dévonien de Celles et de Saint-Antoine, qui est loin de présenter un développement comparable à celui du groupe précédent, forme d'abord un petit pointement sans importance au village même de Saint-Antoine. Son autre affleurement, beaucoup plus important, s'étend dans la direction Est-Ouest, depuis le col de Rouy jusqu'à Montségur et Taoulat, pénétrant ainsi dans la vallée du Lossel, ce qui lui donne une longueur d'environ 13 kilomètres sur une largeur maxima qui atteint 3 kilomètres au méridien de Freychenet, pour se réduire à 600 mètres environ, un peu plus loin, au col de La Lauze. Comme le précédent, il repose au Sud sur les schistes siluriens et est recouvert au Nord par le trias.

Description du niveau phosphaté. — La description du niveau phosphaté, étant donné que sa position géolo-

gique au contact du calcaire griotte et des schistes carbonifères est désormais connue, n'est autre que celle du contact de ces schistes avec le dévonien, dans les limites de cette dernière formation.

Les schistes ne dépassent pas le Salat. Entre cette rivière et Grabious, village situé sur le versant Sud de la chaîne de montagne dont le pic d'Eychenne est le sommet culminant (altitude : 919 mètres), le contact est formé par des schistes stériles et des dolomies.

Gisement de Grabious. — A Grabious où des travaux dépendant de la concession de manganèse de Las Cabesses sont en activité, on exploite, comme dans le gîte principal, des lentilles de carbonate de manganèse au sein de la griotte. Les travaux ont rencontré, à peu de distance de l'entrée principale, la couche à nodules qui affleure, d'ailleurs, sur le contact, visible à la surface même du sol, à peu de distance en amont des galeries d'exploitation, dans le ravin. Il n'a été encore fait sur ce point aucun travail de reconnaissance.

A partir de Grabious jusqu'à la mine proprement dite de Las Cabesses, on suit aisément, sur le versant du ruisseau du Nert (rive droite), l'affleurement de la couche, reconnaissable aux nombreux nodules de phosphate de chaux épars sur le sol et dans les champs. Au lieu dit des Granges, une excavation montre de très nombreux nodules en place dans une terre jaunâtre résultant de la décomposition superficielle de la couche. La distance qui sépare Grabious de la mine de Las Cabesses est de 1.800 mètres environ, jalonnée de nodules sur tout le parcours.

Gisement de Las Cabesses. — La mine de Las Cabesses est, avec les gîtes de Caunes et d'Argut, la seule mine de France où, à ma connaissance, on exploite d'une manière

suivie et depuis un certain nombre d'années, des minerais de carbonate de manganèse(*).

Coupe générale des terrains. — Dans son ensemble, la coupe générale du terrain, suivant une ligne Nord-Sud, présente, à Las Cabesses, la succession suivante (Voir Pl. II, *fig.* 2) :

I. *Terrain silurien.* — Schistes et calcaires noirâtres, plus ou moins ardoisiers. Épaisseur indéterminée ;

II. *Terrain dévonien.* — 1° Étage inférieur : Calcaires en bancs moyennement épais, accidentés par quelques lits schisteux ; la couleur des calcaires est ordinairement grise ; leur texture est amorphe, et leur structure a une tendance schisteuse. Épaisseur, 200 à 300 mètres ;

2° Étage moyen : Alternances irrégulières de talcschistes et de calcschistes. Vers la base, les talcschistes dominent ; ils sont gris, violacés ou verdâtres, et leur structure est le plus souvent feuilletée ; à la partie supérieure, la proportion des calcschistes augmente, et l'étage tend à devenir nettement calcaire au sommet : Épaisseur 250 mètres environ ;

3° Étage supérieur : Calcaires en bancs épais ou en masses compactes désignés dans le pays sous le nom de *griotte ;* les bancs se rattachent à deux variétés principales : la griotte tendre est un calcaire marmoréen à structure subcristalline, sa couleur est grise ou rose, son aspect est souvent amygdaloïde, et la pâte se jaspe alors de rose sur fond gris ; la griotte dure est un calcaire

(*) Production, de 1891 à 1898, de la mine de Las Cabesses en minerai marchand, en majeure partie grillé, contenant à l'état brut, non grillé, de 40 à 45 0/0 de manganèse métal :

1891	3.950T	1894	22.255T	1897	25.047T
1892	16.148	1895	24.160	1898	16.837
1893	30.305	1896	26.578	(6 mois)	

ordinaire, parfois gréseux et jaune, mais généralement gris ou noir, souvent jaspé et se marbrant alors de blanc sur gris, ou de gris sur fond noir. Épaisseur moyenne : 150 à 200 mètres.

III. *Terrain houiller.* — Schistes micacés et gréseux en bancs d'épaisseur variable, de couleur grise ou jaunâtre. Épaisseur indéterminée.

Le silurien se montre nettement au Tuc d'Abères ; le dévonien moyen aux abords du hameau de Lauch, le dévonien inférieur au-dessous du village d'Abères ; enfin la griotte et les schistes houillers se présentent aux affleurements de la mine de Las Cabesses.

Le terrain silurien repose sur un massif puissant de granite et de gneiss, qui émerge à 2 ou 3 kilomètres au Sud du Nert, parallèlement à son cours, et les trois formations affleurent par leur tranche, à travers la concession, suivant une direction générale à peu près Est-Ouest : le silurien sur la rive gauche du Nert, le houiller sur les crêtes de la rive droite, le dévonien sur le revers de la même rive et dans le fond de la vallée.

Toutes plongent d'ailleurs, dans leur ensemble, vers le Nord, et leur pendage, très relevé dans la région Est de la concession, se radoucit notablement dans la région Ouest.

Géologie minière. — La concession n'a été jusqu'à ce jour exploitée qu'à Las Cabesses et à Grabious.

Gîte de Las Cabesses. — Le gîte de Las Cabesses affleure à flanc de montagne, sur la rive droite du ruisseau du Rougé, à 180 mètres environ au-dessus du fond du ravin. Du pied au sommet du revers apparaissent successivement le dévonien inférieur, le dévonien moyen, la griotte et les schistes houillers ; les bancs de griotte ont une direction Nord magnétique 75° Ouest, et l'ensemble des terrains accuse une forte plongée vers le Nord.

Gisement de manganèse. — Le minerai émerge dans un puissant massif de griotte tendre, au voisinage immédiat de la ligne de contact superficiel du dévonien et du houiller. L'affleurement était connu de longue date, et il a été le siège des premiers travaux; une exploitation importante s'y est développée, et le gîte a été déjà suivi sur près de 130 mètres en verticale. La tête du gîte était formée de minerais oxydés; mais les carbonates les ont rapidement remplacés : à 20 mètres de profondeur, ceux-ci dominaient déjà; au dessous, les oxydés n'ont plus été qu'accidentels; mais il a été rencontré, presque jusqu'au niveau actuel de fond, des quantités importantes de carbonatés spathiques, noirs ou bruns, renfermant une proportion de manganèse métallique plus considérable que celle qui correspond à la composition du carbonate de protoxyde, qui paraissent constituées par un mélange intime d'oxydes de manganèse et de carbonates.

Les carbonates se présentent sous les aspects les plus divers, mais abstraction faite de variétés exceptionnellement concentrées dans le voisinage immédiat de quelques rares veines d'argile noire dont le massif de griotte est irrégulièrement sillonné, les principaux types de minerais peuvent être empiriquement sériés comme il suit :

Minerais oxydés	compacts et noirs :	55 p. 100 de métal
	avec noyau carbonaté :	50 p. 100 —
Carbonatés spathiques	noirâtres........	45 p. 100 de métal
	violacés..........	40 — —
Carbonatés marmoréens	grisâtres.........	25 — —
	clairs............	15 — —

Ces types n'ont d'ailleurs rien d'absolu, et les diverses variétés passent fréquemment de l'une à l'autre.

Les minerais paraissent disséminés dans la griotte à l'aventure; mais, en réalité, toute masse de minerai est subordonnée à un groupe de diaclases : tantôt les carbo-

natés sont limités de toutes parts par les diaclases, et en pareil cas la minéralisation est relativement uniforme et disparaît brusquement sur les fissures limites; tantôt au contraire les diaclases ne forment qu'une partie des limites de la masse, et alors la minéralisation, après avoir présenté un maximum au contact des fissures limites, va progressivement en diminuant, et il y a passage insensible du minerai au marbre. Il n'y a donc aucune analogie entre ce mode de répartition des carbonatés et celui qui résulterait de la formation préalable d'une cavité, grotte ou fracture, à épontes plus ou moins nettes, suivies d'un remplissage métallifère; des dépôts de ce dernier genre existent d'ailleurs à Las Cabesses, mais ils ne sont qu'accidentels, se trouvent concentrés sur les affleurements, ne contiennent que des oxydés et n'ont qu'une importance fort secondaire.

Minerai, griotte et diaclase sont indifféremment traversés par des veinules de spath calcaire, dont l'épaisseur ne dépasse jamais quelques centimètres et, au massif, le spath fait parfois place à la diallagite rose. Au voisinage du minerai, la griotte est parfois saupoudrée de fins cristaux de pyrite de fer; enfin les carbonatés renferment presque partout des traces d'or et d'argent et, à certains niveaux, l'analyse chimique a accusé 18 grammes d'or et 40 grammes d'argent à la tonne.

Les diaclases affectent des directions multiples et complexes; mais les orientations les plus fréquentes sont : tout d'abord, N. m. 70° O. et N. m. 30° O. ; ensuite E. O. m., et accessoirement leurs normales ; les fissures d'un même système ont d'ailleurs tendance à se grouper, et il en résulte l'apparence de veines irrégulières dont la puissance peut atteindre 5 mètres et la longueur dépasser 50 mètres ; le système N. m. 70° O. paraît dominer en amont, et le système N. m. 30° O. en aval.

Ces réseaux de fissures n'ont été, jusqu'à ce jour,

rencontrés que dans un massif de griotte tendre relativement peu étendu, et il résulte de leur enchevêtrement un faisceau réticulé complexe, mais nettement limité, dont l'axe idéal se couderait en élévation et en plan avec une tendance à une orientation moyenne Nord-Ouest magnétique et une plongée Nord. L'ensemble du gisement se présente finalement, d'après un rapport inédit de M. Vital, Ingénieur en chef des Mines, sur la mine de Las Cabesses (1896), auquel j'emprunte ces conclusions, comme une colonne de griotte riche, à section variable et à plongée irrégulière, dont la charpente manganésée serait pratiquement constituée par l'entrecroisement régulier d'un système de branche N. 70° O. dominant vers l'amont, avec un système de branches N. 30° O. dominant vers l'aval, et la minéralisation de la griotte a été assez abondante pour s'étendre, jusqu'au jour, sur près de 70 mètres de long sur 40 mètres de large, formant un affleurement de 2.800 mètres carrés de superficie.

C'est donc, comme manganèse carbonaté, un gîte d'une importance et d'une pureté exceptionnelle.

Couche de phosphate. — Le gisement étant ainsi nettement délimité par la griotte même, on avait, à plusieurs reprises, reconnu que le voisinage des schistes houillers stériles, s'annonçait par la présence du front de taille de schistes de couleur noire, contenant des nodules, qu'on désignait sous le nom de *couche graphiteuse*. Ce caractère était si nettement accusé qu'on arrêtait immédiatement tous les travaux d'avancement vers le Nord, dès qu'on atteignait cette couche à nodules. Aux deux niveaux principaux aboutissant au jour, à savoir le niveau 52 (travers-banc Lafargette) et à la galerie Simon (niveau 114), on s'était arrêté à la couche graphiteuse, ou, pour mieux dire, à des intrusions de phosphate dans la griotte qui forme le mur du gisement.

C'est là que j'ai découvert l'existence de la couche phosphatée et que j'ai signalé la composition réelle de la couche graphiteuse aux exploitants de la mine, lors de ma première visite, en Août 1898.

La coupe d'ensemble de la mine de Las Cabesses (*fig.* 3, Pl. II) donne une idée de la disposition des travaux par rapport à la couche de phosphate. En général, comme je viens de l'expliquer, dès qu'on était prévenu, par l'apparition de la couche noire avec nodules, de la proximité des schistes carbonifères, on battait en retraite, puisqu'on était certain, grâce à la connaissance des conditions géologiques du gisement qu'on était arrivé à la limite de la griotte, dans laquelle est exclusivement concentré le minerai de manganèse. On n'avait donc jamais eu l'idée de chercher à traverser cette couche graphiteuse ni de reconnaître sa puissance et sa composition.

Reconnaissance de la couche phosphatée par les galeries de la mine. — Les galeries dirigées du côté du contact n'avaient même jamais atteint ce contact proprement dit. Avant d'y arriver, on rencontrait, en général, des intrusions de phosphate noir dans la griotte, qui annonçaient, sans qu'il fût besoin de pousser plus loin, qu'on était arrivé à la limite du champ exploitable. C'est ainsi qu'au niveau 52, par exemple, on avait arrêté la galerie à la rencontre d'une sorte de lentille de la couche graphiteuse dont la coupe (*fig.* 3, Pl. II) donne une idée. Aussitôt que j'eus fait connaître aux propriétaires de la mine la composition réelle des nodules, on poussa activement tant au niveau 52 (travers-banc Lafargette) qu'au niveau 114 (travers-banc Simon), le percement vers le contact.

Galerie du niveau 52. — La galerie du niveau 52, qui était la plus avancée vers ce contact, l'a rencontré fin Novembre 1898 et y a recoupé une couche de $8^{m},90$ de phosphate. La galerie du niveau 114 a rencontré la couche phosphatée dans les premiers jours de Janvier 1899.

Gisement de contact. — Il se présente dans la galerie avec une puissance de 8^m,90 de phosphate en roche avec nodules ; ces derniers entrant pour environ un tiers en volume dans la composition de la couche. Pendage du gîte : 60° au Nord.

Une prise d'essai moyenne, faite sur le phosphate tout-venant, *nodules déduits par un criblage préalable*, a donné 16 p. 100 d'acide phosphorique, correspondant à 35 p. 100 de phosphate tribasique. Les nodules donnent, comme on le sait, une teneur très régulière, variant de 60 à 65 p. 100 de phosphate tribasique.

Il est inutile d'insister sur l'importance de ce percement, qui a permis de confirmer très rapidement et, comme on le voit, par des travaux très simples, la persistance en profondeur de la puissance remarquable de la couche phosphatée, qu'on constate à la surface sur un grand nombre de points.

Schistes manganésés. — Il faut remarquer encore, avant de quitter le gîte de Las Cabesses, que les schistes encaissant la griotte métallifère sont, dans le voisinage des enrichissements en minerai de manganèse, fortement chargés eux-mêmes de ce métal, tandis que le minerai de manganèse, quoique très voisin on le voit de la couche de phosphate, est absolument indemne de l'élément nuisible, phosphore. La postériorité du remplissage manganésé est donc évidente.

Ces remarques auront leur intérêt dans l'exploitation souterraine des phosphates. La teneur en manganèse des schistes encaissants sera un guide précieux pour la recherche de ce métal dans la griotte voisine du contact que les travaux seront forcément appelés à suivre. C'est là une indication d'autant plus importante que, par leur mode même de formation, sur lequel j'ai donné plus haut quelques détails, les gisements de manganèse carbonaté de l'Ariège peuvent parfaitement exister sans qu'aucun affleu-

rement les signale à l'attention, à la surface actuelle du sol.

Gisement des Courets. — A partir de Las Cabesses, en suivant l'affleurement de la couche phosphatée, on passe de la vallée du Nert dans celle de l'Estanque, affluent du Baup, qui passe à Lescure.

Après un parcours de 900 mètres en direction, on arrive au ravin encaissé de Terrenère, — un nom significatif, — dans lequel on découvre un magnifique affleurement de phosphate noir, qui traverse le ravin à angle droit.

M. Vital le décrit comme suit dans son Rapport déjà cité (*) :

« Une seconde coupe intéressante de la griotte peut
« être relevée au jour, sur les revers abrupts et dénudés
« qui longent la rive gauche du ruisseau de Terrenère,
« dans le ravin des Courets.

« Le contact du houiller et du dévonien est assez nette-
« ment visible dans ce ravin et, au-dessous des schistes
« houillers, semblent émerger successivement deux hori-
« zons de griotte tendre, le premier de 10 à 15 mètres
« d'épaisseur, le second d'une grande puissance, séparés
« l'un de l'autre par des *calcaires noirs* et des *bancs*
« *gréseux* analogues aux assises recoupées par le travers-
« banc Lafargette. »

On constate encore, ici le chevauchement de la couche phosphatée sur la griotte, que j'ai déjà signalé plusieurs fois et qu'il convient de noter au point de vue de la détermination de l'âge de ces phosphates et de leur rattachement soit au dévonien, soit au carbonifère.

Si on considère, en effet, ces chevauchements comme des accidents postérieurs à la formation, les intrusions lenticulaires de phosphate dans la griotte n'ont pas de signifi-

---

(*) E. VITAL, Ingénieur en Chef des Mines, *Étude sur la concession de carbonate de manganèse de Las Cabesses.* — Rapport inédit, 1896.

cation au point de vue de leur contemporanéité, et on peut classer les phosphates, à la base de la série carbonifère, immédiatement au contact de la griotte, mais distincts de cette formation.

Si on considère, au contraire, que les gisements lenticulaires de phosphate dans la griotte accompagnent d'une manière normale et fréquente la partie supérieure de la griotte, qui se termine d'ailleurs par 5 à 6 mètres de griotte schisteuse, intermédiaire entre le banc griottique proprement dit et les schistes carbonifères, on peut rattacher les phosphates à la formation griottique et les classer à la partie supérieure du dévonien. C'est mon opinion personnelle ; elle est corroborée par la comparaison que j'ai faite avec le Tennessee, où la présence de fossiles dévoniens caractéristiques dans le phosphate ne laisse pas de doute sur leur véritable horizon. Dans tous les cas, le passage de la griotte aux schistes carbonifères se fait sans discordance, de sorte que la limite et l'absence de fossiles caractéristiques est plutôt une question d'appréciation personnelle et de comparaison avec des échelles connues qu'une question de fait.

L'affleurement de la couche dans le ravin des Courets mesure 11^{m},50 de puissance. Les nodules sont plus nombreux au toit qu'au mur. La couche paraît presque verticale.

Synclinal de la Serre-de-Mouréou. — A partir du ravin des Courets, les affleurements se dirigent en ligne à peu près droite vers l'Ouest, traversent la rivière d'Artillac, passent à proximité des hauteurs de Sabon, s'infléchissent alors au Nord et viennent traverser une deuxième fois l'Artillac à l'Espiougue (Voir le plan, Pl. II, *fig.* 1). La couche se dirige à partir de ce point sur la ferme de Sarrat, où elle s'infléchit de nouveau vers le Nord, formant ainsi un vaste golfe de 5 kilomètres de profondeur sur 2.500 mètres d'ouverture, dans lequel s'élève la montagne

dite Serre-de-Mouréou, entièrement formée de schistes carbonifères, comme le Pic d'Eychenne.

Le dévonien forme donc un premier synclinal que j'appellerai synclinal de la Serre de Mouréou, qui donne lieu à deux contacts utiles entre schistes et griotte, et par conséquent à deux séries d'affleurement, en un mot à deux branches de la couche de phosphate. Les nodules se présentent surtout sur la branche Sud dont j'ai donné la description détaillée ; la branche Nord est stérile sur la majeure partie de son parcours.

Gisement de Sarrat. — A partir de la ferme de Sarrat, le dévonien forme un anticlinal, au sommet duquel est situé le village de Cazalas. Le contact phosphate se dessine suivant une courbe assez sinueuse, à cause d'un petit synclinal secondaire qui occasionne un nouvel angle rentrant, d'importance beaucoup moindre que celui de la Serre-de-Mouréou et dont le sommet se trouve entre Cazalas et le cap de la Coste.

Au point de départ de cette nouvelle zone riche, à la ferme de Sarrat, au-dessous de la route qui remonte la vallée de l'Estanque en venant de Rimont, on a fait dans le temps une petite recherche pour anthracite, aujourd'hui complètement éboulée. Sur tout le parcours de Sarrat à Cazalas, la couche de phosphate est régulière et puissante. Elle est constamment accompagnée d'un banc de lydite à amandes qui, faisant saillie sur le sol, facilite beaucoup le tracé du contour.

A Cazalas, où se trouve aussi un gisement de carbonate de manganèse ayant été l'objet d'un commencement d'exploitation, aujourd'hui suspendue, la couche de phosphate qui affleure dans le chemin, à 150 mètres au Nord-Ouest des talus de décharge de la mine, se présente avec une puissance de plus de 12 mètres, composée en majeure partie de phosphate noir.

La couche vient enfin tourner vers l'Est au-dessous de Feillet, à 1.000 mètres environ de la route et du chemin de fer. C'est à cet endroit que se trouve un des points d'attaque les mieux situés pour entrer en galerie dans le gîte, qui présente, à ses affleurements, une quantité de nodules épars sur le sol.

Synclinal de Larbont. — A partir de ce point, le contact prend une direction à peu près rectiligne vers l'Est, en s'infléchissant toutefois légèrement vers le Sud dans sa partie médiane, au droit du méridien d'Esplat, pour se prolonger jusqu'au village de Cerny, près de Montels, où il vient se perdre, sous forme d'une pointe effilée, dans la grande faille dévonienne dite de la chapelle d'Alzen. Ce trajet, à peu près rectiligne, mesure environ 15 kilomètres de longueur ; mais il n'est pas également riche sur tous ses points : il est notamment complètement stérile dans toute la zone étranglée qui le termine du côté de Montels.

Cette grande bande forme la branche Sud d'un nouveau synclinal, que je désignerai sous le nom de synclinal de Larbont, qui ne dépasse pas 1.200 mètres de largeur, mais dont la longueur atteint près de 14 kilomètres. La branche Nord de ce synclinal est constituée par un riche gisement de phosphate, qui va depuis l'Arize jusqu'à l'Artillac. Elle est limitée à ses deux extrémités par les terrains secondaires qui la recouvrent.

La coupe générale du bassin phosphaté de l'Ariège que je donne (Pl. II, *fig.* 4), à l'échelle de $\frac{1}{80.000}$ pour les longueurs horizontales, donne une idée claire de la position des deux anticlinaux que je viens de décrire.

Chantier de l'Arize. — Au bord de l'Arize, à 600 mètres environ de la route et du chemin de fer, la couche se présente, dans le chantier qui vient d'y être ouvert, sous

l'aspect de la *fig.* 16, Pl. I. On connaît même à cet endroit deux couches ayant chacune jusqu'à 20 mètres de puissance (Pl. I, *fig.* 15, Plan d'ensemble du chantier de l'Arize). La couche de gauche est, dans sa position, normale au contact entre schiste et calcaire; celle de droite est entièrement dans la griotte. Il y a encore là, probablement, un de ces phénomènes d'intrusion du phosphate dans la griotte que j'ai signalé sur un si grand nombre de points différents, qu'il faut bien admettre qu'il fait partie des conditions naturelles de la formation phosphatée.

Au chantier de l'Arize, ce doublement a une importance réelle, car à 15 mètres au-dessus du niveau du ruisseau, les deux couches, séparées par un simple nerf de griotte sans importance, forment un vaste épanouissement sur une largeur supérieure à 100 mètres. La couche située dans la griotte se prolonge même au-dessus de cet élargissement ; on la constate encore sur un chemin vicinal qui recoupe la direction des couches à 60 mètres d'altitude au-dessus du niveau de l'Arize. Au-dessus de ce dernier point, un rejet important de la couche ne permet pas de se rendre compte de la manière dont se termine ce doublement dans la formation phosphatée. Au-delà du rejet, la couche normale située au contact entre schiste et griotte persiste seule.

La proportion des nodules dans le chantier de l'Arize varie du quart au tiers et même à la moitié du volume du tout-venant.

Deux prises d'essai sur le tout-venant, prélevées en ma présence, *nodules non déduits*, c'est-à-dire sur la matière telle qu'elle est donnée par l'abatage, sans aucun triage, m'ont fourni les résultats suivants :

Chantier nº 1 (supérieur) : 24.12 p. 100 d'acide phosphorique
— nº 2 (inférieur) : 21.82 —

correspondant respectivement à 52,58 et 47,56 p. 100 de phosphate tribasique de chaux.

Les autres contacts de la griotte avec le carbonifère sont masqués par les terrains secondaires.

Résumé. — Tels sont, succinctement exposés, les traits principaux qui caractérisent la formation phosphatée qui s'étend entre Saint-Girons et Foix. Je les résume rapidement de la manière suivante :

Appuyé sur les schistes siluriens, le terrain dévonien forme deux synclinaux successifs, à savoir celui de la Serre-de-Mouréou et celui de Larbont, dirigés tous deux parallèlement à l'axe général du soulèvement, c'est-à-dire Est-Ouest, mais *basculés* l'un et l'autre par le voisinage du massif granitique de la Bargillière, de façon que ces deux synclinaux se terminent en pointe vers l'Est, donnant ainsi, au contact entre schistes et griotte, la forme de deux sinus étroits et profonds, ce qui multiplie beaucoup les affleurements de phosphate. M. Mettrier avait déjà constaté cette particularité des plissements *basculés* du dévonien dans la région d'Alzen. Rapprochant cette allure de celle qui se présente sur d'autres points en Europe, au contact du dévonien et du carbonifère, il conclut à attribuer la forme sinueuse des contacts, aussi bien en plan qu'en coupe transversale, à l'ennoyage des plissements dévoniens autour du soulèvement granitique de la Bargillière (*).

M. J. Roussel, dans sa Carte récemment parue sur cette région (**), n'a pas tenu compte de cette particularité strati-

(*) M. METTRIER, Ingénieur des Mines, et Dr F. KLOCKMAN, Professeur à l'Académie des Mines de Clausthal, *Rapport* (inédit) *sur les mines de cuivre d'Alzen*, 1898.

(**) J. ROUSSEL, *Étude stratigraphique des Pyrénées* (*Bulletin des Services de la Carte géologique de France et des topographies souterraines*, n° 35, T. V, 1893-1894.

graphique ; il représente les alternances du dévonien et du permo-carbonifère (dénomination sous laquelle il désigne les schistes qui surmontent la griotte), sous forme de quatre îlots allongés ou fuseaux étroits de griotte, dirigés Est-Ouest, entourés par les schistes.

La disposition exacte des couches ressort clairement du plan au $\frac{1}{220.000}$ et de la coupe transversale générale de la formation phosphatée dirigée N.S.-E.O., passant par Las Cabesses, Cazalas et la Bastide-de-Sérou, à l'échelle de $\frac{1}{80.000}$ pour les distances horizontales, que je donne à la Pl. II de ce Mémoire.

Dévonien et carbonifère de Celles et de Saint-Antoine. — Je dirai seulement quelques mots de cette formation, qui constitue le prolongement, vers l'Ouest, de celle de la Bastide-de-Sérou, mais qui est loin d'en avoir l'importance. La disposition générale du dévonien, entre les schistes siluriens et les terrains secondaires, est la même que dans l'autre partie du bassin, séparée par le granite de Foix (massif de la Bargillière) ; seulement les schistes carbonifères sont réduits ici au remplissage des deux synclinaux étroits, dirigé l'un, N.E.-S.O., entre Freychenet et le col de Rouy ; l'autre, E.-O., s'étend entre les ruisseaux de Touyre et de Lossel. L'un et l'autre de ces îlots sont complètement isolés dans le massif dévonien.

La couche phosphatée se présente dans le synclinal de Freychenet sous forme de minces filets charbonneux, à une certaine distance du contact proprement dit de la griotte. On y trouve quelques rares nodules de phosphate tribasique et de la lydite à amandes. Quant à la couche du contact proprement dit, elle est constituée par une formation de calcschistes noirâtres faisant fortement

effervescence aux acides et contenant 2 p. 100 d'acide phosphorique.

Je n'ai pas visité le synclinal de Montferrier, entre le Touyre et le Lossel, qui est peu intéressant, vu son éloignement de toute voie de communication praticable. D'après M. J. Roussel (*), le contact des schistes avec la griotte est occupé par des brèches, des conglomérats et des marnes noires calcarifères.

Griotte de Villefranche-de-Conflent. — **Gisement de Prades (Basses-Pyrénées).** — On connaît l'importance des exploitations de marbre griotte situées dans les environs de Prades. Il était donc naturel d'aller examiner dans cette région la manière dont se présente le contact entre le dévonien et le carbonifère. Ce dernier affleure seulement au sud de la bande dévonienne, qui s'étend dans la direction Est-Ouest, à peu de distance de Prades et à laquelle vient s'arrêter l'embranchement du chemin de fer, au petit village de Villefranche-de-Conflent, qui forme le terminus de la ligne. Ce village, ainsi que l'ancien fort de même nom, sont bâtis sur une cluse étroite, pratiquée par la rivière la Têt dans la masse griottique.

Les exploitations de marbre, ainsi que les gisements de minerai de fer, abondent dans les environs et sont assez activement exploités. La griotte, très redressée, vient butter au Nord contre les schistes siluriens. Il ne peut donc y avoir de contact utile que sur le flanc Sud de la formation dévonienne. J'ai trouvé en effet, en remontant la route qui va de Villefranche-de-Conflent à Olette, des schistes noirs qui marquent le contact, à environ 1 kilomètre au sud de Villefranche-de-Conflent. Une intrusion de ces schistes dans la griotte a même donné lieu à un petit travail de reconnaissance de date assez

(*) J. ROUSSEL, *loc. cit.*

récente, visible dans un petit ravin à droite de la route au-delà du groupe scolaire actuellement en construction. Dans l'un et l'autre de ces gisements je n'ai pu trouver aucune trace de nodules. L'analyse de ces schistes m'a donné les résultats suivants :

Perte à la calcination...............	17,40 p. 100
Acide phosphorique.................	2,10

Gisement des Corbières (Aude). — Le dévonien et le carbonifère des Corbières ont été l'objet de nombreux travaux, et cette dernière formation y est suffisamment développée pour avoir donné lieu, dans un passé déjà assez lointain d'ailleurs, à une tentative d'exploitation de la houille. Paillette (*) signala le premier l'existence du houiller dans cette région. D'Archiac (**), en 1859, reconnut l'existence de la griotte dans les Corbières. M. Viguier (***) en a donné une étude détaillée avec coupe à l'appui et a découvert un exemplaire d'*Orthoceras bohemicum* dans un nodule recueilli par M. de Rouville. Récemment enfin M. J. Roussel (****) a donné plusieurs coupes nouvelles du dévonien et du permo-carbonifère des Corbières en les rapportant à la partie la plus ancienne de trois grands plis et d'une ride transverse qui les croise ; de sorte que les couches sont disposées en bandes parallèles dans la direction Est-Ouest, et sont, en outre, en retrait de part et d'autre du plan axial de la ride transverse.

Dans le flanc oriental de celle-ci, le secondaire ou le carbonifère reposent transgressivement sur le silurien supérieur.

(*) *Notice sur les mines de Ségure et de Tuchan* (*Annales des Mines*, 3e Série, Années 1836 et 1839).

(**) D'Archiac, *Les Corbières* (*B. S. G.*), 2e Série, T. VI, n° 2.

(***) Viguier, *Etudes géologiques sur le département de l'Aude*, p. 101 et suiv.

(****) Roussel, *loc. cit.*

Le faciès général du dévonien n'est plus celui de la griotte classique des Pyrénées. Ce sont des calcaires dolomitiques ou amygdalins ; mais la localisation des minerais de fer et de manganèse dans cet étage persiste encore (gisements de Palairac, de Valmigère, de Villardebelle).

Le houiller (permo-carbonifère de M. Roussel) est formé de schistes noirs ou rouges et, à la partie supérieure, de conglomérats, de grauwackes et de grès avec lits de houille.

Gisements de Durban et de Cascatel. — Dans la vallée de la Berre, M. Viguier avait signalé, dans les terrains qui affleurent entre Villeneuve et Cascatel, des schistes noirs accompagnés de *sphéroïdes aplatis et de nodules noirs arrondis* de dimensions variables très pyriteux où se trouvent des débris de fossiles, des grains de pyrites, des cristaux de gypse. J'ai retrouvé, en effet, dans le lit de la Berre, près du coude que fait cette rivière entre Durban et Villeneuve, les schistes noirs signalés par ce géologue. J'ai pu m'assurer, en suivant les affleurements dans les ravins voisins qu'il s'agit ici d'une couche de schiste charbonneux dépendant du terrain triasique qui forme une grande bande entre Durban et Albas. Cette couche ne vient au contact du dévonien que par suite d'un accident local. Elle ne présente d'ailleurs aucun intérêt au point de vue de l'acide phosphorique, ainsi que l'analyse sommaire le démontre.

ANALYSE DES SCHISTES CHARBONNEUX DE DURBAN.

Perte à la calcination	32.10
Acide phosphorique (dans les cendres)	0.067
Acide phosphorique (rapporté à la matière première)	0.05

La formation permo-carbonifère est surtout développée dans la partie occidentale des Corbières, à l'Ouest du

méridien de Monthoumet. Cette région, très montagneuse, dénuée de chemins d'accès et éloignée des voies ferrées, ne présentait pas un intérêt assez immédiat pour être en ce moment l'objet d'une étude plus approfondie au point de vue de la teneur en phosphate de la couche au contact du dévonien. Il est à remarquer aussi, ainsi que je l'ai constaté dans la vallée de Luchon et dans la région de l'Ariège qui avoisine immédiatement le Salat, que le faciès dolomitique de la griotte paraît être un indice défavorable au point de vue de la richesse de la couche en phosphate. Cette présomption aurait besoin d'être vérifiée sur d'autres points pour être admise comme un caractère permanent; j'ai tenu néanmoins à la signaler, car, aux environs du Salat notamment, l'appauvrissement en phosphate de la couche, si riche, cependant, de Las Cabesses, au voisinage de la dolomie, est digne d'être noté.

V

EMPLOI DES PHOSPHATES NOIRS.

On comprend aisément, d'après les explications que j'ai données dans la deuxième partie de cette étude, au cours de laquelle j'ai étudié la nature et la composition des phosphates pyrénéens, qu'ils se prêtent à la fois à leur transformation en superphosphates aussi bien qu'à leur emploi direct après simple mouture.

Les nodules et les parties les plus riches du phosphate noir rubanné correspondent au premier de ces emplois; les phosphates à basse teneur conviennent au second.

Transformation en superphosphates. — Les phosphates des Pyrénées étant caractérisés par l'absence de chaux libre exigent naturellement, pour mettre en liberté l'acide phos-

phorique qu'ils contiennent, une quantité d'acide sulfurique beaucoup moindre, à poids égal, que les phosphates crayeux ou carbonatés. Leur teneur en fer et en alumine rentre dans les limites généralement admises par les fabricants, de sorte que leur vente pour la transformation en surperphosphates n'est, somme toute, qu'une question de marché à débattre.

C'est surtout à l'état de mélange avec les phosphates crayeux de l'Algérie ou du Nord de la France que ces phosphates trouveront leur emploi rationnel dans les fabriques de superphosphates. Employés seuls, ils pourraient avoir le défaut de donner un superphosphate lourd, difficile à sécher, à cause de sa faible teneur en sulfate de chaux. Il convient toutefois de remarquer que les phosphate du Tennessee sont traités avec succès sans aucun autre mélange et donnent un phosphate facile à sécher, quoique peu chargé de gypse. L'expérience seule pourra fixer sur le meilleur mode d'emploi et les dosages les plus avantageux à adopter pour ajouter à l'économie d'acide que procureront ces phosphates, la qualité du produit final au point de vue de son séchage et de sa texture pulvérulente.

Emploi direct des phosphates moulus. — Il s'est produit, depuis déjà plus de dix ans un mouvement accentué en faveur de l'emploi direct des phosphates naturels en agriculture, et on peut dire qu'aujourd'hui, malgré les difficultés inhérentes à la nature même des essais agricoles, dans lesquels les circonstances locales jouent un si grand rôle, il est définitivement établi que la solubilité dans l'eau de l'acide phosphorique des superphosphates n'est qu'un moyen d'incorporer dans le sol l'élément phosphore dans un état de division tel que l'assimilation par les radicelles soit plus immédiate et plus prompte. En un mot, c'est l'état de division de la matière, plutôt que sa solubilité dans l'eau ou dans les acides organiques au moment où elle est incor-

porée au sol, qui joue le rôle prépondérant. Des expériences précises démontrent, en effet, que l'acide phosphorique soluble contenu dans les superphosphates, repasse dans un temps très court à l'état de phosphate insoluble de chaux de fer et d'alumine, après l'épandage sur le sol.

Des pays qui utilisent les phosphates naturels par emploi direct. — L'introduction sur le marché des engrais, des scories de déphosphoration, qui date de 1886, qui est par conséquent toute récente, a vulgarisé ces notions et a puissamment contribué à détruire la croyance, souveraine jusqu'à cette date que seul l'acide phosphorique, rendu soluble dans l'eau par un traitement chimique, avait sur la végétation une action rapide et efficace. Encore à l'heure qu'il est, l'Angleterre, qui est un des gros facteurs de consommation de phosphates, reste réfractaire à l'emploi direct des phosphates naturels, et la raison en est simple : le Royaume-Uni n'a par lui-même qu'une production insignifiante de phosphate. Il vit par conséquent uniquement sur les importations de phosphate naturel venant de France, de Belgique, d'Algérie et des États-Unis. Seuls les phosphates à haute teneur peuvent supporter les frais de transport depuis les lieux de production jusqu'aux usines anglaises. Or les phosphates riches sont ceux qui sont les moins qualifiés pour l'emploi direct, car alors intervient une question de masse à répandre sur une surface déterminée, qui oblige à ne pas dépasser, pour les matières à épandre, une teneur de 16 à 18 p. 100 d'acide phosphorique.

D'autre part, la situation de l'Angleterre est telle, et le prix de revient de l'acide sulfurique y est si bas, que c'est certainement un des pays dans lesquels le bénéfice du fabricant de superphosphate est le mieux assuré. Nombreuses sont, en effet, les usines où l'acide sulfureux est la conséquence gratuite du grillage de minerai de

cuivre ou de zinc et doit être condensé sous forme d'acide sulfurique, ne fût-ce que pour se conformer aux réglementations hygiéniques.

Historique de l'emploi agricole des phosphates. — Il est intéressant de faire remarquer à ce point de vue que les premières utilisations du phosphate en agriculture ont été faites sous forme de phosphate naturel appliqué directement sur le sol. La transformation en superphosphates, industrie qui a été créée, en 1852, par Sir J. Lawes en Angleterre, a été postérieure aux premières applications directes des phosphates minéraux en France.

Berthier avait le premier, en 1810, indiqué cette substance dans les pyrites du gault de Wissant (Pas-de-Calais), à l'étage où elle devait être plus tard reconnue avec une fréquence spéciale. En 1820, il révélait la nature des nodules de la craie chloritée du cap de la Hève, qui avaient été découverts par de Bonnard. Ce n'est que deux ans après qu'on commençait à se préoccuper, en Angleterre, de l'emploi des phosphates d'os pour l'agriculture et que Buckland et Conybeare signalaient les phosphates de Bone-bed de la partie inférieure du lias ou du crag du tertiaire, très récent. De 1852 à 1856, Meugy, qui avait fait de cette question une étude particulière, signala successivement les nodules phosphatés de la craie chloritée d'Aunasse près de Lille, à la base du Sénonien, et la vraie nature des *Coquins* ou nodules de Grand-Pré, Vouziers et Rethel. La note magistrale publiée par Élie de Beaumont, en 1856, sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore, où il donnait les indications les plus complètes et les plus précises sur les niveaux phosphatés et particulièrement sur celui du gault, ainsi que sur leurs conditions de gisement, a toujours été, à juste titre, considérée comme ayant eu une influence capitale pour susciter et développer les exploitations qui devaient

se poursuivre, en France, sur les niveaux ainsi indiqués, et en particulier sur celui du gault, jusqu'aux découvertes ultérieures de nouveaux gîtes, tels que ceux de la Somme, sans parler de ceux plus récents encore de l'Amérique et de l'Afrique(*).

A partir de 1847, on commença à s'occuper sérieusement de la substitution des phosphates fossiles aux os broyés incorporés dans les engrais artificiels. Les beaux travaux de Meugy sur les phosphates verts furent le point de départ de l'industrie si développée, qui s'est maintenue depuis lors sur les gisements des Ardennes. Le mérite de l'organisation pratique de cette industrie revient d'ailleurs à de Molon et à Desailly dont les noms sont inséparables de cette création.

Il est indubitable que l'emploi des superphosphates est surtout avantageux pour les terres exploitées par fermage, sur lesquelles l'exploitant, c'est-à-dire le fermier, a intérêt à rentrer le plus vite possible dans ses avances d'engrais et à n'employer par conséquent que des matières susceptibles de lui revenir sous forme de produits agricoles pendant la durée de son assolement ou de son fermage. Mais, d'autre part, l'unité d'acide phosphorique pouvant lui être fournie à beaucoup plus bas prix dans les phosphates naturels moulus que dans les superphosphates, l'emploi sous les deux formes dépend essentiellement des conditions locales et des prix de transport. C'est ce qu'ont compris les fabricants de superphosphates, qui tendent de plus en plus à installer des usines régionales dans les pays de consommation, à les approvisionner avec des phosphates riches importés et à dédoubler pour ainsi dire ces derniers sur place, de manière à réduire les frais de transport au minimum.

(*) L. Aguillon, *Notice sur le Corps des Mines*. Imprimerie Gauthier-Villars et fils, Paris, 1897 (Centenaire de l'Ecole Polytechnique).

Emploi des phosphates dans le Sud-Ouest de la France. — La région agricole du Sud-Ouest, qui est appelée plus particulièrement à bénéficier de la découverte des phosphates noirs des Pyrénées, n'est guère desservie que par les usines littorales de Cette, de Bordeaux et de Bayonne. La partie centrale du Toulousain et les départements voisins, notamment toute la riche vallée qui s'étend de Tarbes à Pau, consomment des engrais phosphatés venant pour la plupart des usines précitées. Ces régions trouveront une économie considérable dans l'emploi direct des phosphates noirs moulus. Les résultats obtenus dans cette voie sont des plus favorables, mais ils ne sont pas encore assez nombreux pour être absolument concluants. D'autres applications, sur une plus vaste échelle, sont en cours d'exécution. Tels qu'ils se comportent, ces premiers résultats donnent lieu de penser que, dans un avenir prochain, les phosphates des Pyrénées feront vraisemblablement l'objet d'une consommation importante sous forme d'application directe après simple mouture.

Coup d'œil sur le marché actuel des phosphates. — Il est inutile d'insister sur l'intérêt que présente, au point de vue général, la découverte des phosphates des Pyrénées, juste au moment où la hausse rapide des prix de vente des engrais, qui a ou pour raison déterminante l'ouverture des hostilités entre les États-Unis et l'Espagne, a éveillé l'inquiétude des agriculteurs. Ainsi que je le faisais prévoir dès 1895, l'absence de stock flottant et de disponibilité de la marchandise, qui est la caractéristique du commerce des phosphates, en face des besoins sans cesse grandissants de l'agriculture, devait fatalement amener la hausse pour peu qu'une circonstance fortuite rompît tant soit peu l'équilibre. Si on jette, en effet, un coup d'œil rétrospectif sur les fluctuations du marché des phos-

phates, depuis seulement quinze ans, on sera frappé de voir que le phénomène de la baisse ininterrompue des prix, depuis le début de l'industrie des phosphates a été, pour la première fois, remplacée par une hausse et une hausse considérable, depuis la guerre hispano-américaine. M. Grandeau a très bien fait ressortir cette situation dans ses intéressantes chroniques agricoles.

Au début de l'industrie des superphosphates, le prix de l'acide phosphorique rendu soluble par l'acide sulfurique était fort élevé : 1 franc et plus par kilogramme. Le progrès de cette fabrication qui prit, avec la découverte d'abondants gisements en phosphate naturel, un essor considérable, abaissèrent progressivement le prix de l'unité d'acide phosphorique à 0 fr. 80, 0 fr. 70 et finalement, vers 1887, à 0 fr. 60 ou 0 fr. 50, suivant les centres de production. La consommation du superphosphate s'accroissant, de nouvelles et importantes usines s'élevèrent, et, la concurrence aidant, les prix fléchirent à 0 fr. 45 et 0 fr. 40 et restèrent stationnaires à ces taux pendant quelques années, de 1890 à 1895.

De tous côtés les cultivateurs constatèrent les excellents effets de l'acide phosphorique sur la fertilisation de leurs terres; les débouchés augmentant, l'industrie superphosphatière décupla ses moyens de production, en France, en Belgique et en Angleterre ; les prix de vente étaient à la fois rémunérateurs pour les fabricants et les cultivateurs. Survint le malaise qui, il y a quelques années, atteignit l'agriculture de toute l'Europe, malaise dû en grande partie à l'affaiblissement des prix des denrées agricoles, en blé et en sucre notamment, que les tarifs douaniers furent impuissants à conjurer. La consommation des engrais phosphatés se ralentit ou, pour dire plus juste, ne suivit pas la progression de la fabrication du superphosphate, qui avait pris un développement énorme, quoique bien peu en rapport encore avec les besoins de

nos cultures. Les cours faiblirent de 1895 à 1897, dans une proportion inconnue jusque-là; le prix de l'unité d'acide phosphorique tomba jusqu'à 0 fr. 34 et 0 fr. 32. Cette baisse trouvait pour les fabricants, il est vrai, une compensation partielle dans la diminution du prix de la matière première résultant de la mise en exploitation des immenses gisements de l'Amérique et de l'Algérie; mais, malgré cela, l'industrie du superphosphate traversait une crise grave, qui rendit nécessaire une entente des producteurs pour réduire la fabrication. La situation des phosphatiers, obligés d'abaisser le prix de vente de la matière première des superphosphates, n'était guère meilleure.

Les choses en étaient là lorsqu'éclata la guerre hispano-américaine, dont l'une des premières conséquences fut la suppression à peu près complète des exportations de la Floride. Entre temps, la faiblesse du prix du superphosphate avait conduit les industriels à réduire leurs approvisionnements en phosphate d'Amérique, principal facteur de l'importation des phosphates bruts, dans la pensée que ce dernier s'abaisserait encore. La brusque cessation de l'importation des phosphates d'Amérique, principale source d'alimentation des usines européennes, déjoua ce calcul. En quelques semaines une hausse énorme (30 à 40 p. 100) se produisit sur les phosphates d'Algérie, appelés à remplacer ceux de la Floride ou du Tennessee. La conséquence nécessaire de cette hausse subite fut l'élévation du prix de vente du superphosphate, qui est coté aujourd'hui 0 fr. 45 à 0 fr. 50 l'unité, suivant les régions, prix que l'agriculture n'avait pas connu depuis 1889 ou 1890. Comme il était naturel de s'y attendre, les autres engrais phosphatés, les scories de déphosphoration notamment, ont suivi ce mouvement de hausse. Pris aux centres de production, l'acide phosphorique coûte actuellement 0 fr. 25 le kilogramme dans les scories.

J'ai toujours fait ressortir, lorsque j'ai eu à m'occuper

du marché général des phosphates, cette particularité qu'il présente, de ne jamais avoir de stock flottant, d'existences importantes en magasin. C'est une cause de faiblesse, qui a longtemps pesé sur les cours; mais c'est aussi une des raisons majeures qui ont amené la hausse des prix de 1898. Les usines à superphosphate, après avoir longtemps fait la loi aux producteurs, voient aujourd'hui la situation changer du tout au tout par la simple entente des producteurs principaux pour maintenir les prix à un taux plus rémunérateur. C'est un résultat qui devait forcément se produire, après une période de dépression, due à une concurrence ruineuse des vendeurs, qui ont fini par s'apercevoir que le marché, dénué de stock, en présence de la consommation constamment croissante des phosphates, était facile à relever par une simple entente des gros producteurs.

Malgré cette hausse des prix, il n'y a pas à craindre que la consommation des phosphates diminue. Le cultivateur tomberait dans une grave erreur, s'il renonçait, pour ses cultures d'automne, au phosphatage de ses champs. *L'abaissement des rendements lui causerait une perte de recette sans rapport avec l'économie réalisée sur l'achat des engrais*(*).

Il était évident, ainsi que j'ai cherché à le faire ressortir dans mes analyses de prix de revient des grands pays producteurs, Floride et Algérie, en 1895, que les prix de vente, à cette époque, étaient descendus au-dessous du minimum normal et qu'on travaillait pour ainsi dire à perte, tout au moins sur un certain nombre des gisements de ces divers pays. La statistique de la production depuis 1895 a pleinement justifié mes prévisions, ainsi que le démontre le tableau suivant :

(*) L. Grandeau, *Études agronomiques*. Articles dans le journal *le Temps*.

TABLEAU DONNANT LA PRODUCTION EN TONNES MÉTRIQUES DES DIFFÉRENTES RÉGIONS PHOSPHATIÈRES DES ÉTATS-UNIS DE 1892 A 1898.

ANNÉES	CAROLINE du Sud	FLORIDE	CAROLINE du Nord	TENNESSEE	PRODUCTION totale
1892	548.396	354.327	6.000	....	908.723
1893	556.889	426.432	7.500	....	990.815
1894	493.800	558.990	9.000	17.384	1.079.174
1895	515.734	530.356	7.500	45.329	1.098.819
1896	314.360	499.065	7.817	57.847	889.089
1897	333.626	442.303	7.000	119.599	902.428
1898	»	»	»	320.000	1.125.090

Ce tableau montre clairement que la Floride et la Caroline étaient, en 1896 et en 1897, en décroissance sensible. Ces régions pouvaient difficilement lutter aux prix de l'époque. La diminution de la production américaine aurait été plus forte encore, si un nouveau facteur, le Tennessee, n'était venu relever le total avec un énorme accroissement de plus de 100 p. 100 de 1896 à 1897, passant de 57.000 tonnes à 119.000. Dans l'exercice 1898, le progrès a été plus considérable encore ; l'accroissement sur 1897 a été de près de 300 p. 100. C'est principalement au district de Mount-Pleasant qu'est dû ce développement réellement extraordinaire de la production.

Production de l'Algérie. — Pendant cette même période, l'Algérie s'est de son côté merveilleusement développée, prouvant ainsi la vitalité de son industrie nouvelle et la faculté qu'elle possède de pouvoir lutter victorieusement aux époques de dépression sur les prix de vente.

PRODUCTION DES PHOSPHATES ALGÉRIENS DE 1894 A 1898.

ANNÉES	EXPORTATION pour la France (tonnes)	EXPORTATION pour l'étranger (tonnes)	EXPORTATION totale (tonnes)
1894	3.145	46.448	49.593
1895	34.838	77.160	111.998
1896	34.661	105.379	140.040
1897	70.155	136.917	207.082
1898	60.860	161.488	222.348

On peut dire, en résumé, que l'état général du marché des phosphates, tant en Europe qu'aux États-Unis, est extrêmement encourageant. Malgré les accroissements réalisés, malgré les perspectives immédiates de développement des nouvelles régions, les prix se maintiennent en grande hausse, et ce, sur des marchés à long terme. On a passé des marchés à livrer sur les cinq prochaines années, en phosphates de la Caroline du Sud, (200.000 tonnes), à des prix de hausse, ce qui fait espérer au moins le maintien des cours actuels.

En Floride, les exportations, au 30 Novembre 1898, avaient atteint 334.708 tonnes contre 329.325 tonnes en 1897, et 291.540 en 1896. Sur ce total, les ports méditerranéens n'ont reçu que 11.978 tonnes contre 29.922 en 1897 et 39.467 en 1896. On voit que les phosphates algériens tendent à chasser complètement les phosphates américains de cette zone de vente.

Les prix des phosphates à haut titre de la Floride ont monté de 5 dollars, en 1897, à 9 dollars, en 1898, soit 80 p. 100 de hausse, et les nodules (*land pebble*) sont cotés à l'heure actuelle 5 dollars 1/2 à 6 dollars la tonne métrique, franco New-York.

Avenir des phosphates des Pyrénées. — Telles sont les

conditions dans lesquelles les nouveaux gisements phosphatés des Pyrénées vont avoir à entrer en ligne de compte sur le marché des phosphates. Je les résume brièvement.

Exportation. — Au point de vue de l'exportation, les ports de sortie doivent être incontestablement Bordeaux ou Bayonne. Dans l'un et l'autre de ces ports et surtout à Bordeaux, le fret de sortie manque, et nombreuses sont les occasions qu'on peut utiliser pour exporter les marchandises lourdes à destination de l'Angleterre, de la Belgique et de l'Allemagne, à des taux extrêmement bas, en combinaison avec des chargements de poteaux de mines ou d'autres marchandises légères à destination des mêmes ports. Cette exportation est favorisée, en outre, par un tarif spécial très favorable, établi par la Compagnie du Midi sur tous les minerais exportés de l'Ariège à destination de Bordeaux, qui est de 6 fr. 40 par tonne métrique. C'est là un point très important pour la vente de ces phosphates à l'étranger ; car on sait que, en dehors de la France, les grands consommateurs de phosphate sont l'Allemagne et l'Angleterre.

Emploi direct. — Au point de vue de l'emploi direct des phosphates moulus, on peut prévoir que toute la région du Sud-Ouest s'approvisionnera, dans un délai très court, avec les phosphates des Pyrénées. Ces matières fertilisantes prendront tout d'abord la place des scories de déphosphoration, dont l'importation a pris depuis quelques années un développement considérable. Il est permis d'espérer que la Compagnie du Midi établira des tarifs spéciaux pour faciliter ce nouveau trafic, qui aura pour elle l'avantage de s'opérer en entier par ses voies, depuis les gisements jusque chez les consommateurs, et de lui

permettre par conséquent de conserver le bénéfice des abaissements de tarif, propres à développer sur son réseau le trafic des phosphates naturels.

Résultats agricoles obtenus avec les phosphates noirs simplement moulus. — Voici maintenant un résumé des résultats agricoles obtenus par l'emploi direct des phosphates noirs des Pyrénées. La plupart de ces applications ont été faites dans le département des Basses-Pyrénées et particulièrement dans l'arrondissement d'Oloron.

Les essais ont été effectués pour la première fois sur la récolte de 1897 et ont été continués en 1898, principalement sur des maïs et sur des blés. Le sol de cette région est en majeure partie formé d'alluvions anciennes en terrasses appartenant à la classe des terrains argilo-siliceux, généralement pauvres en acide phosphorique.

Domaine de Châtel-Bergès. — *Récolte* 1897. — L'essai comparatif du phosphate noir titrant 16/18 d'acide phosphorique, avec des superphosphates 14/16 et 16/18, a été exécuté par le propriétaire, lauréat du Concours des domaines en 1897, sur une culture de maïs qui avait été préalablement fumée avec du fumier de ferme. La dose était, aussi bien pour les phosphates noirs que pour les superphosphates, de 500 kilogrammes à l'hectare.

Aux termes mêmes de la déclaration du propriétaire, le résultat fut excellent, et la parcelle qui avait reçu les phosphates noirs donna un résultat notablement supérieur à celui obtenu par les superphosphates 16/18.

Le même dosage fut employé sur une partie non fumée préalablement et qui ne reçut, par conséquent, que les engrais ci-dessus désignés, c'est-à-dire du phosphate noir moulu, du superphosphate 14/16 et du superphosphate 16/18. La différence de rendement en faveur des phosphates noirs fut encore plus marquée que dans l'essai avec fumure. Le propriétaire fait observer que le champ ser-

vant à la dernière expérience est très riche en potasse et pauvre en acide phosphorique et en azote.

Récolte de 1898. — Il a été fait sur le même domaine, en 1898, une nouvelle série d'expériences sur du blé et de l'avoine, en concurrence avec des scories de déphosphoration titrant 14/16 d'acide phosphorique.

L'épandage a été exécuté à raison de :

1.000 kilogrammes à l'hectare pour les scories ;

400 kilogrammes de phosphate noir moulu titrant 16/18.

Les résultats ont été encore en faveur de ce dernier engrais.

L'emploi sur les cultures de maïs a été continué aussi sur ce domaine, et j'ai visité le champ d'expériences au mois de septembre dernier. Les parties qui avaient reçu le phosphate noir tranchaient nettement par la hauteur des tiges, qui dépassaient d'un tiers celles des parties voisines qui n'avaient pas reçu d'engrais. Les rendements comparatifs en poids de la récolte ne m'ont pas été communiqués.

La conclusion du propriétaire est que les phosphates noirs des Pyrénées sont, à poids égal, pour les terres qu'il possède à Châtel-Bergès, à la dose de 500 kilogrammes à l'hectare, sensiblement supérieurs aux meilleurs superphosphates.

Domaine de M. Amadou. — Campagne 1897. — M. Amadou, membre de la Société d'Agriculture des Basses-Pyrénées, a employé, en 1897, des phosphates noirs des Pyrénées simplement moulus, titrant 16/18 d'acide phosphorique. La dose employée était assez forte : 800 kilogrammes à l'hectare ;

Nature de la culture : froment ;

Qualité du terrain : terre très maigre, non fumée, argilo-siliceuse et caillouteuse, n'ayant donné, en 1896, qu'une très faible récolte de maïs.

La récolte de froment a été, en 1897, exceptionnelle-

ment mauvaise dans tout l'arrondissement d'Oloron. La moyenne du rendement sur les meilleures terres de la région n'a pas dépassé 12 hectolitres à l'hectare. Les parcelles qui avaient reçu l'engrais phosphaté ont donné, en moyenne, 15 hectolitres à l'hectare, soit 25 p. 100 de plus que les meilleures terres. Il n'a pas été employé dans cet essai d'autre engrais que le phosphate.

Domaine de Mme Vve Lafargue, à Osse. — Le phosphate noir a été employé sur une partie du domaine de Mme Vve Lafargue, comparativement avec des parcelles qui ont reçu du fumier de ferme et d'autres avec des superphosphates.

Nature des terrains : bonnes alluvions de plaine ;

Dose de phosphate noir employé titrant 16/18 : 600 kilogrammes à l'hectare ;

Pas d'autre engrais sur cette parcelle, qui n'avait pas reçu d'engrais dans les deux années précédentes ;

Nature des cultures : pommes de terre et maïs.

D'après les déclarations du propriétaire :

« Les pièces voisines, toujours bien entretenues avec « du fumier et du superphosphate, n'ont pas meilleur « aspect que la nôtre. C'est assez dire l'efficacité et la « bonté de ces phosphates que je me propose d'employer « de nouveau en 1899. »

Mode d'emploi des phosphates noirs moulus. — Pour résumer rapidement ces résultats, on peut dire que les phosphates de l'Ariège, simplement broyés et appliqués directement sur le sol, à raison de 500 à 600 kilogrammes à l'hectare, ont donné constamment, à dose égale, des résultats au moins égaux et généralement supérieurs aux meilleurs superphosphates titrant 16/18 p. 100 d'acide phosphorique soluble dans l'eau. Comparés aux scories de déphosphoration, les phosphates naturels de l'Ariège, appliqués dans la proportion réduite de 40 p. 100

du poids de scories (400 kilogrammes de phosphate naturel contre 1.000 kilogrammes de scories à l'hectare) ont donné des résultats supérieurs à cette dernière classe d'engrais.

Employés seuls, sur des terres très maigres, à la dose de 800 kilogrammes par hectare, les phosphates noirs des Pyrénées ont donné, en 1897, un rendement en grain supérieur de 25 p. 100 à celui des meilleures terres de la région.

TABLE DES PLANCHES.

PLANCHE I.

Figure 1. — Phosphate noir avec nodules.
2. — Phosphate schisteux avec nodules.
3. — Lydite (phtanite) avec amandes courbes.
4. — Phtanite avec gros nodules.
5. — Phtanite à amandes.
6. — Nodules décomposés.
7. — Nodule aplati. — Nodule normal.
8. — Nodule à noyau pyriteux.
9. — Nodule avec débris fossiles.
10. — Gros nodule concrétionné.
11 — Nodule fissuré.
12. — Nodule de phosphate et de lydite.
13. — Coupe transversale (par xy du plan).
14. — Plan général du gisement phosphaté de Lescun (Basses-Pyrénées).
15. — Plan d'ensemble du chantier de l'Arize.
16. — Détail du chantier de l'Arize.

PLANCHE II.

Figure 1. — Plan général des gisements de phosphate de l'Ariège.
2. — Mine de carbonate de manganèse de Las Cabesses, coupe N.-S. par l'axe des puits 6. Échelle $\frac{1}{5.000}$.
3. — Galerie Lafargette. Avancement Nord. Échelle $\frac{1}{500}$.
4. — Courbe générale du bassin phosphaté de l'Ariège par Las Cabesses-Cazalas-Larbont-La-Bastide. Échelle des longueurs : $\frac{1}{80.0000}$.

TABLE DES MATIÈRES.

IV. — Description des gisements.

V. — Emploi des phosphates noirs.

EMPLOI
DE
L'ÉLECTRICITÉ DANS LES MINES A GRISOU
EN ANGLETERRE

Par M. LEPROUX, Ingénieur des Mines.

La note qui va suivre est le résultat d'une étude entreprise, au cours de l'été de 1898, pour rechercher si, dans les houillères anglaises, l'emploi de l'énergie électrique dans l'intérieur des mines grisouteuses est soumis à des précautions spéciales. Chargé de cette étude par M. le Ministre des Travaux publics, et accrédité, par l'intermédiaire de M. le Ministre des Affaires étrangères, auprès de M. le Secrétaire d'État pour l'Intérieur, nous avons pensé que le mieux à faire était de nous mettre en rapport avec MM. les Inspecteurs des Mines, estimant que la question, touchant de si près à la sécurité, ne pouvait leur être étrangère ; que ces Messieurs nous mettraient à même de visiter les installations se rapportant à l'objet de notre mission, et surtout, que tout perfectionnement de nature à rendre plus sûr l'emploi de l'électricité dans les mines à grisou aurait été porté à leur connaissance, à raison de la nature même de leurs occupations.

Grâce à l'obligeance que nous avons très généralement rencontrée chez MM. les Inspecteurs, nous avons pu, soit directement, soit indirectement, nous mettre en rapport avec la plupart de ceux d'entre eux qui sont chargés des districts houillers, et, grâce à eux, grâce aussi à l'accueil qui nous a été fait par les exploitants de mines

auxquels nous étions adressés, par les constructeurs, etc., nous avons réuni un ensemble de renseignements et de documents, dont l'exposé suit.

Il y a bientôt vingt ans que fut rédigé le rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon sur l'état des mines à grisou en Angleterre. Depuis lors une loi est venue, en 1887, remplacer la loi de 1872 (*). Cette même loi de 1887 a subi deux groupes de modifications dont nous parlerons dans un travail spécial. Mais, au total, et sauf sur quelques points de détail, la législation n'a pas été altérée ; la réglementation n'a pas été modifiée, si ce n'est sur quelques questions qui n'intéressent pas l'aménagement général ; la propriété minière est restée organisée de même ; les conditions de l'industrie houillère ont peu varié ; les méthodes n'ont pas changé, et il en résulte que le rapport que nous citions plus haut pourrait, croyons-nous, être refait en entier presque sans autre modification d'ensemble que celle de la date. En ce qui concerne notamment l'aérage, on trouve encore nombre de mines aérées par des foyers ; la mesure des teneurs en grisou des retours d'air est toujours aussi négligée, etc. Je crois donc pouvoir me contenter d'y renvoyer, sans m'attarder davantage à décrire une situation générale que, par la suite, je supposerai connue.

Les données qui résultent de cette situation pour les emplois de l'électricité dans les mines à grisou peuvent être résumées comme il suit :

1° Les machines que l'on peut avoir à actionner par l'électricité dans les travaux souterrains des houillères anglaises sont, au premier rang, les treuils de traînage mécanique ; puis les machines d'extraction secondaires des puits intérieurs ; accessoirement, des pompes ; en dernier

(*) Voir *Annales des Mines*, vol. de 1897.

lieu, et depuis quelques années seulement, des haveuses.

Pour tous ces usages, l'électricité peut rendre de très grands services. La largeur habituelle de la section des puits et des galeries, la solidité du toit, la facilité qu'offrent, par conséquent, la pose des câbles et leur déplacement, font trouver très avantageux, dans bien des cas, l'emploi de l'électricité comparé à celui de l'air comprimé ou de la vapeur. Pour le havage mécanique notamment, qui paraît prendre une place prépondérante dans l'exploitation des couches moyennes à charbons durs, les avantages de l'électricité sont inestimables ; outre la facilité de pose, le bruit fait par la haveuse est beaucoup moindre qu'avec l'air comprimé, et l'appareil travaille avec beaucoup plus de régularité et sans à-coups. Certains ingénieurs regardent le fait que les haveuses électriques font un peu moins de bruit, comme un avantage très marqué au point de vue de la sécurité.

En outre, l'électricité se prête admirablement à l'éclairage des recettes et des principales galeries.

2° Comme le font remarquer MM. Pernolet et Aguillon, les mines anglaises peuvent être regardées comme des mines où le dégagement de grisou est, en général, modéré. De plus, les toits sont bons et très lisses, et il se produit peu de cloches dans les galeries de roulage, bien que ces dernières soient très peu boisées. Le résultat est que l'on voit, en somme, peu de grisou, tant dans les chemins d'arrivée d'air que dans les tailles ; ce gaz se trouve surtout, soit dilué dans l'air des retours d'air, où il atteint parfois des teneurs exagérées, soit, probablement, dans les vides inaccessibles qui se produisent dans le toit en arrière des tailles.

L'idée de placer des appareils électriques et des câbles dans les chemins d'entrée d'air n'a donc rien qui effraie à première vue ; pour quiconque ne réfléchit pas, ou ne veut pas réfléchir à l'instabilité de l'aérage des houillères

anglaises, le danger du grisou n'y est, en général, nullement apparent, lorsqu'on se borne à gagner les tailles par les chemins d'entrée d'air. Au reste, pour nombre des appareils dont nous avons parlé, le danger de la présence du gaz au voisinage du courant paraît très réduit. Les treuils de traînage sont, ou très près des puits d'entrée d'air, ou, en tous cas, très loin des travaux. Les pompes sont aux points les plus bas de l'exploitation. Il n'y a presque jamais de cul-de-sac d'une longueur importante, et d'ailleurs, y en eût-il, qu'il ne serait pas question d'y placer des appareils électriques ; car les ventilateurs secondaires et les perforatrices sont des appareils bien peu connus dans les houillères anglaises.

Pour toutes ces raisons, l'emploi de l'électricité dans les mines même grisouteuses devait paraître possible en Angleterre, et les constructeurs d'appareils électriques devaient naturellement tenter de grands efforts pour se créer de ce côté un débouché qu'une production de près de 200 millions de tonnes permettait de croire sans limites.

L'objection du danger provenant, surtout dans les mines grisouteuses, des échauffements, des étincelles et des arcs voltaïques, fut immédiatement mise en avant, non pas, comme en Belgique, par l'Administration, mais par les exploitants eux-mêmes. L'Administration, disons-le dès à présent, n'a jusqu'ici proposé aucune mesure réglementaire visant les emplois de l'électricité dans les mines en général, ni dans les mines à grisou en particulier ; on sait d'ailleurs que ce dernier terme n'a pas, en Angleterre, de sens défini. Dans les règlements généraux, résultant des textes de la loi de 1887 et de la loi de 1896, il n'est rien prévu à ce sujet, nous n'avons nulle part entendu dire que les règlements particuliers se préoccupent de la question. Quant aux Inspecteurs des mines, ils nous ont paru être hostiles à l'emploi de l'électricité dans les milieux grisouteux ; mais nous n'avons pas connaissance

qu'aucun de ceux que nous avons vus ait eu à s'opposer à telle ou telle installation projetée dans des conditions dangereuses.

Les exploitants, nous le répétons, ont été les premiers à reprocher à l'électricité les dangers d'incendie et d'inflammation des gaz qu'elle apporte avec elle. Cette opposition de leur part provenait à la fois, croyons-nous, du danger réel, et aussi d'une certaine inexpérience du personnel qui dirige les exploitations houillères. On sait comment est formé ce personnel en Angleterre : cinq ans de pratique comme ouvrier ou employé dans une mine ; un examen sur des matières visant uniquement l'exploitation; telles sont les conditions suffisantes pour être chargé de diriger une exploitation. Sans doute les Compagnies prospères possèdent des directeurs pourvus d'une très solide instruction ; sans doute l'enseignement technique se développe ; mais il le fait lentement, plus lentement que partout ailleurs.

D'autre part, sans que nous puissions à ce sujet formuler une opinion appuyée sur des faits et des chiffres précis, il semble que les emplois de l'électricité comme force motrice aient fait en Angleterre, d'une manière générale, moins de progrès qu'en Allemagne, ou en Belgique, ou en France. C'est ainsi que nous avons pu parcourir l'Angleterre du Nord au Sud pendant plusieurs semaines, en stationnant surtout dans les grandes villes, sans constater l'existence d'une seule ligne de tramways électriques ; c'est ainsi également que, d'après des renseignements que nous avons tout lieu de croire exacts, on aurait cherché en vain, en Angleterre, au commencement de 1898, une maison de construction établissant des moteurs et générateurs pour courants polyphasés.

Ce retard des hommes et des choses, et cette espèce de crainte que professent, plus peut-être en Angleterre qu'ailleurs, les personnes mal éclairées pour tout ce qui

n'a pas reçu la sanction de l'expérience dans leur pays natal, explique que les premières propositions faites pour installer l'électricité dans les mines de houille aient été accueillies avec des objections au-devant desquelles les constructeurs se sont portés avec empressement, en préconisant des dispositifs soi-disant de sécurité.

Les dispositifs proposés se réduisent : 1° à munir les dynamos, employées dans les travaux, d'enveloppes mettant le milieu extérieur à l'abri des étincelles qui se produisent aux balais ; 2° à se servir de câbles spéciaux, combinés de manière à ne pas donner d'étincelles d'extra-courant, lors d'une rupture.

L'enveloppement des dynamos est une mesure qui se comprend d'elle-même, et qui, en dehors des considérations de sécurité, se justifie par des motifs d'ordre économique ; la poussière et l'humidité qui se rencontrent habituellement dans les mines rendent très utiles les dispositifs de protection. Aussi les dynamos, grossièrement enveloppées, bénéficièrent-elles très vite d'une certaine faveur.

Il n'en fut pas de même pour les câbles. Le seul qui ait été sérieusement prôné et qui ait été, à notre connaissance, l'objet d'applications en Angleterre est le câble Atkinson (*). Combiné, dans la pensée de l'inventeur, de manière à produire, dès qu'il commence à se rompre, l'interruption du courant, par le jeu automatique d'un commutateur, ce câble fut d'abord installé dans deux houillères du Durham. Mais, au bout de peu de temps, on le retira, trouvant son emploi inutile ; en fait, il n'était pas particulièrement justifié, le parcours sur lequel il était posé étant dans l'air frais. On fit cependant quelque bruit autour de cette application ; diverses publications en parlèrent avec faveur ; mais la faveur s'arrêta là, et nous

(*) Voir sa description dans la communication de M. Selby Bigge à la *Federated Institute of Mining Engineers*, mars 1892. Cette description a été résumée dans le rapport belge (*Annales des Mines*, 1er vol. 1898, p. 104).

tenons de l'inventeur lui-même cette affirmation qu'à l'heure actuelle il n'y a pas un seul câble Atkinson en service en Angleterre.

A cela, croyons-nous, se résume l'historique de l'emploi des câbles spéciaux en Angleterre. C'est peu de chose en regard de l'importance qui leur a été donnée dans certaines publications (*) et dans le rapport accompagnant l'arrêté belge de 1895.

Aujourd'hui les câbles employés dans les mines anglaises sont presque partout et uniquement des câbles assez fortement armés avec des fils ou des bandes d'acier, soigneusement et solidement isolés, mais sans dispositifs spéciaux pour parer aux inconvénients de l'extra-courant de rupture. Bien plus, certains constructeurs ne craignent pas d'affecter l'armature extérieure au retour du courant. Exceptionnellement, et aux abords des puits, les câbles sont renfermés dans des conduites en plomb ou en poterie, pour éviter les détériorations par les agents extérieurs. Il ne nous a pas semblé qu'on se préoccupe, comme en Belgique, de calculer largement les sections des conducteurs, en vue d'éviter les échauffements plus soigneusement dans les mines qu'ailleurs.

Voyons maintenant à quels résultats a conduit la pratique de l'enveloppement des dynamos.

Dès que l'emploi des moteurs enveloppés s'est généralisé, on a reconnu deux inconvénients de ce système : la capacité close peut être trop petite par rapport à la masse enveloppée, et alors la dynamo s'échauffe ; si la capacité est grande et dépasse 1 ou 2 litres, et si un mélange détonant vient à être introduit à l'intérieur, l'enveloppe sera brisée par l'explosion.

Ce sont ces considérations qui ont conduit M. Stokes,

(*) Voir notamment *Federated Institute of Mining Engineers*, meetings de mars 1892, juin 1896 ; et *Colliery Guardian*, articles de M. Sydney F. Walker (1er semestre 1897).

Inspecteur des mines pour le Midland, à combiner une dynamo où seule la partie dangereuse est protégée, et où les joints sont d'ailleurs faits de telle sorte qu'une flamme ne puisse se propager de l'intérieur à l'extérieur. Ce type de dynamo a été soumis à des essais d'ailleurs assez concluants, prouvant que la dynamo elle-même présente, dans les milieux grisouteux, une certaine sécurité (voir p. 112, et *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. III).

Ailleurs on a essayé de remédier à l'échauffement en introduisant dans l'enveloppe un gaz sous pression. On avait proposé un gaz inerte; mais nous ne croyons pas qu'il ait été fait réellement d'application de ce principe autrement qu'avec de l'air comprimé. C'est ainsi qu'on a procédé à Hickleton (voir p. 113).

Ces deux perfectionnements ont été appliqués soit à des traînages, soit à des pompes, c'est-à-dire dans des cas où, en général, on a peu à se préoccuper du grisou au point où se trouvent placées les dynamos.

Les haveuses mécaniques sont dans une situation absolument différente, puisqu'elles sont placées au front de taille. Or l'emploi des haveuses fait réellement des progrès assez sensibles en Angleterre. Elles sont le plus souvent actionnées par l'air comprimé; mais certains constructeurs leur ont appliqué l'électricité. Mais, des renseignements que nous avons obtenus, il résulte que jusqu'à présent on n'a pas eu, dans ce cas, à se préoccuper des dangers du grisou, parce que les haveuses électriques n'ont été employées que dans des mines très peu grisouteuses.

On enveloppe bien les moteurs, dans un but d'économie, mais sans se préoccuper aucunement de l'étanchéité. Toutefois c'est à une haveuse qu'ont été adaptées les seules dynamos à courants polyphasés dont nous ayons entendu parler au cours de notre voyage. Cette haveuse fonctionne à Ackton Hall et donne, paraît-il, toute satisfaction (voir p. 113).

Nous n'avons parlé jusqu'ici que du transport de l'énergie pour des applications mécaniques. En ce qui concerne l'éclairage, nous n'avons que deux points à signaler.

L'éclairage des recettes intérieures, des galeries d'accès, des chambres de machines, etc., au moyen de lampes à incandescence fixes, est très répandu. On ne prend dans ce cas aucune précaution spéciale ; on néglige même, la plupart du temps, de recouvrir l'ampoule des lampes à incandescence d'une cloche en verre plus solide, ainsi que nous l'avons toujours vu faire en Westphalie, et que l'impose le règlement belge. Une opinion, qui paraît assez répandue en Angleterre, est que la rupture d'une ampoule dans un mélange grisouteux ne peut donner lieu à l'inflammation de ce mélange. Cette conclusion est d'ailleurs opposée à celle à laquelle est arrivé M. Heise, à Consolidation (*).

En second lieu, nous signalons l'emploi, sur une grande échelle, au moins dans deux mines du Durham (Murton et Lampton ; voir p. 114), de lampes portatives données aux ouvriers. Les exploitants nous ont déclaré que, entre autres avantages, ces lampes permettaient un meilleur triage du charbon au chantier. D'autre part, il nous a été affirmé qu'une des raisons de leur emploi était la crainte de dégagements instantanés. Les ouvriers que nous avons questionnés nous ont tous déclaré qu'ils étaient très satisfaits de la substitution de ces lampes aux lampes de sûreté ordinaires, à cause de ce fait qu'elles ne s'éteignent pas lorsqu'elles tombent. Quant à l'inspection du toit au point de vue de la solidité de ce dernier, nous n'oserions affirmer qu'elle soit beaucoup plus facile avec ces lampes qu'avec des lampes à combustion.

Tels sont les résultats de notre enquête. Au reste, les

(*) Glück-Auf, janvier 1898. Voir aussi : *Comptes Rendus de la Société de l'Industrie minérale*, février 1898.

quelques essais que nous venons d'indiquer et qui ont été faits pour permettre l'emploi des moteurs électriques dans les milieux grisouteux sont peu concluants et ne paraissent pas devoir être poursuivis. L'opinion des Ingénieurs anglais au courant des questions d'exploitation des mines de houille nous a paru en effet, à une ou deux exceptions près, être très nettement défavorable à l'emploi de l'électricité dans les mines à grisou, et nous croyons pouvoir dire qu'il se produit actuellement, dans ce pays, une réaction contre les tentatives qui ont été faites, ces années dernières, pour faire adopter cet emploi. On nous a cité plusieurs mines qui, possédant des installations électriques, les avaient récemment supprimées. Un ou deux incidents inquiétants, comme celui qui s'est produit à Murton (arc voltaïque entre deux conducteurs) ont ravivé les craintes que les exploitants n'avaient d'ailleurs pas abandonnées, et ont eu un grand retentissement. L'opinion qui semble prévaloir chez la majorité des exploitants est la suivante :

« L'électricité expose à des mécomptes bien graves, et nous ne voyons pas bien quels sont les avantages qu'elle présente sur les autres modes de transmission de l'énergie qui nous sont familiers — les câbles et l'air comprimé. — Dans le doute sur les effets que l'électricité peut produire, nous préférons nous abstenir. »

Quant aux quelques personnes que nous avons pu voir et auxquelles l'exploitation des mines grisouteuses est plus spécialement connue, leur opinion est plus solide et plus motivée. « On peut, nous disait l'une d'elles, au moyen de tels ou tels expédients, surtout au moyen d'une construction et d'un entretien très soignés, éviter tout danger dans l'emploi de l'électricité dans une mine grisouteuse pendant dix, quinze, vingt ans. Soit ! La vingt et unième année, une simple négligence, ou même un incident, dont on ne peut pas être maître, un éboulement,

un dégagement un peu violent, etc., mettront en présence une étincelle de rupture et un mélange gazeux, et on tuera deux cents hommes. Si l'on n'est pas effrayé par cette perspective, qu'on adopte l'électricité. Mais, pour moi, ajoutait mon interlocuteur (directeur d'une mine du Pays de Galles, réputée très dangereuse), je sais ce qu'il en coûte ; je sais, en dehors de toute considération humanitaire, de combien et pour combien de temps le prix de revient est majoré pour une mine qui a de semblables castastrophes dans son histoire, et je ne comprends pas qu'on mette en regard de ce risque l'économie que peut procurer l'emploi de l'électricité par rapport aux autres modes de transport de l'énergie. »

Cette opinion n'est pas isolée, et nous la citons avec d'autant plus d'empressement qu'elle émane d'un exploitant.

Ce qui toutefois atténue l'impression de sécurité que pourrait faire naitre un semblable état d'esprit, c'est que, en Angleterre, des mines réellement très grisouteuses ne sont pas toujours considérées comme telles, cela à cause surtout de l'insuffisance des mesures grisoumétriques. Dans celles-là, même lorsque les lampes de sûreté seront en usage, on emploiera l'électricité, peut-être de plus en plus, sans prendre aucune précaution ; mais on l'excluera formellement de celles qui sont considérées comme grisouteuses. Nous croyons en tous cas qu'il n'y a pas de moyen terme, et que, à l'heure actuelle, en Angleterre, on est disposé à peu près partout à ne considérer comme efficace contre les dangers de l'électricité en présence du grisou que le moyen le plus radical : l'exclusion.

APPENDICE.

I. — Dynamo à collecteurs enveloppés système Davis et Stokes.

Préoccupé du reproche, très fondé d'ailleurs à notre avis, que l'on peut faire aux dynamos enveloppées, de constituer une capacité close trop importante dont l'enveloppe pourrait être brisée par une explosion extérieure, M. Stokes, inspecteur des mines pour le district du Midland, a imaginé un dispositif qui réduit à son minimum le volume de cette capacité. La seule partie enveloppée est le collecteur et les balais. Pour faciliter l'établissement du joint, les touches qui forment le collecteur sont disposées en forme de couronne creuse cylindrique, à l'intérieur de laquelle se trouvent les balais (Voir la coupe, *fig.* 4). Ceux-ci sont supportés par des axes qui passent au travers d'un disque en bronze GG, lequel est en même temps l'obturateur et constitue l'unique enveloppe. Ce disque est muni d'un rebord qui vient s'adapter, sans contact, par dessus la couronne du collecteur. Une bague BB maintient la fermeture au moyen d'une saillie SS; cette bague se visse sur le commutateur même, et les deux saillies SS et TT font que, sans qu'il y ait contact avec le rebord du disque, la bague et le disque sont solidaires, c'est-à-dire qu'on ne peut ouvrir sans dévisser la bague. La course de cette dernière et le jeu du disque, qui coulisse sur une chemise fixe entourant l'arbre, sont réglés de telle sorte que, lorsque la bague est dévissée et le disque suffisamment retiré pour que le joint soit défait, les balais ne sont plus en contact avec les touches du collecteur.

Les balais sont calés et mis en contact avec le collecteur au moyen de manettes placées à l'extérieur du disque. Une petite fenêtre percée dans le disque et garnie de mica permet de voir les balais et de les caler pendant la marche.

La maison Davis construit des dynamos ainsi disposées pour des voltages de 200 et de 500 volts, et des puissances de 6 à 40 chevaux. L'une des premières installations a été faite au charbonnage de Shirland, en 1891. La dynamo en question marchait à 120 volts et donnait une puissance de 2 chevaux.

Elle actionnait une pompe. Le directeur de ce charbonnage l'aurait, paraît-il, soumise à divers essais, consistant :

1° A la faire tourner pendant une demi-heure dans une capacité remplie d'un mélange détonant, sans obtenir d'explosion ;

2° A remplir de mélange explosif la capacité où se trouvent enfermés les balais, à placer le tout dans un mélange explosif et à faire tourner la dynamo; le mélange intérieur aurait fait explosion sans communiquer le feu au mélange extérieur.

Il résulte de certificats et de ce que nous avons vu par nous-même qu'un certain nombre de ces moteurs sont en service dans des charbonnages du Midland.

II. — Essai d'enveloppement de dynamos avec introduction d'air comprimé.

Au charbonnage d'Hickleton, qui exploite la couche Barnsley, dans le Yorkshire, un traînage mécanique important a été établi, avec des dynamos enveloppées, dans l'enveloppe desquelles on introduisait de l'air comprimé, plutôt pour refroidir l'appareil que pour chasser le gaz.

Il s'agissait de dynamos à deux pôles, type dit « War office », construites par la maison Scott and Mountain, de Newcastle-on-Tyne, marchant à 180 volts et 400 ampères, c'est-à-dire faisant 72 kilowatts ou à peu près 100 chevaux.

A l'origine, ces dynamos ont été munies d'une enveloppe dont la disposition est indiquée sur les *fig.* 5 et 6. Comme on le voit, cette enveloppe ne recouvrait que la partie tournante, et la capacité close était très réduite. On admit dans cette capacité de l'air fourni par la canalisation dont dispose la mine pour les traînages secondaires, à la pression de 6 kilogrammes. Ayant eu d'assez graves difficultés pour réaliser un calage convenable des balais, et ayant d'ailleurs reconnu qu'au point de vue du grisou le danger était à peu près nul en raison de l'emplacement des dynamos, dans une chambre placée près des puits, entre l'arrivée et la sortie d'air, on résolut d'enlever l'enveloppe.

III. — Emploi des courants triphasés à Ackton Hall Colliery.

Une haveuse électrique, actionnée par des courants triphasés, est en marche, depuis la fin de juillet 1898, au charbonnage de

Ackton Hall (Yorkshire), et y donne toute satisfaction. L'appareil moteur se compose de deux dynamos de 10 chevaux chacune, marchant sous une tension de 330 volts. L'outil de havage est un disque faisant une entaille de $1^{m},45$ de profondeur ; le bâti de la haveuse a $0^{m},75$ de large. Les courants sont amenés par trois câbles armés, comprenant chacun 19 fils de cuivre n° 16 (jauge de Birmingham).

Fait à noter : toute la partie électrique est construite par une maison qui n'est pas anglaise.

IV. — Emploi des lampes Sussmann.

Nous avons constaté par nous-même l'emploi, sur une assez grande échelle, de lampes électriques, système Sussmann, dans deux charbonnages du Durham (à Murton et à Lampton).

A Lampton (Newbottle Colliery) 250 lampes sont en service, entre les mains des ouvriers, depuis deux mois.

A Murton, 600 lampes sont en service dans les mêmes conditions, depuis un an.

Ces lampes se composent d'un petit accumulateur renfermé dans une boîte étanche de $10 \times 10 \times 15$ environ. La lampe à incandescence est placée par dessus ; elle est entourée d'un verre cylindrique épais ; un chapeau surmonté d'un crochet-poignée surmonte le tout. A l'intérieur du verre cylindrique, un petit cône blanc en fer émaillé placé latéralement forme écran et réflecteur.

La lampe pèse 2 kilogrammes et brûle, sans baisser d'une manière appréciable, pendant dix heures.

On charge les accumulateurs par séries de 16 ; la charge dure dix heures, à raison de $0^{amp},6$ par lampe ; chacune exigeant environ 6 volts. A chaque charge, on doit ajouter environ 2 ou 3 centimètres cubes d'eau acidulée à 11 p. 100 d'acide sulfurique.

D'après les renseignements donnés, le prix d'une semblable lampe serait d'environ 25 francs. On n'a pas encore de renseignements précis sur le prix de revient de l'éclairage par ce moyen.

Octobre 1898.

BULLETIN.

LE MANGANÈSE AU BRÉSIL

D'après M. AR ROJADO RIBEIRO LISBOA.

Des gîtes de minerais de manganèse ont été rencontrés au Brésil dans les États de Matto-Grasso, Saõ-Paulo et Minas-Geraes ; ceux de ces deux premiers États ne sont encore qu'à peine explorés et ne sont que très imparfaitement connus, mais on a commencé, et d'une façon assez active, l'exploitation de ceux de l'État de Minas-Geraes.

Nature des minerais. — Les minerais de manganèse rencontrés jusqu'ici sont des oxydes anhydres ou hydratés, appartenant à diverses variétés.

Les plus abondants sont la manganite ou acerdèse et la pyrolusite, que l'on rencontre dans tous les gisements ; le premier surtout domine habituellement. Avec la manganite on rencontre la braunite ; plus rarement, la haussmannite domine, comme c'est le cas pour le minerai de Marreco. La psilomélane se rencontre en beaucoup d'endroits, formant assez souvent de petits filons.

Les minerais oxydés de Minas-Geraes sont de qualité supérieure, non seulement par leur teneur élevée en manganèse métallique, mais aussi par leur pureté, ainsi que cela résulte du tableau que l'on trouvera plus loin.

Le phosphore n'existe habituellement qu'à l'état de traces, ou, en tous cas, dans une proportion ordinairement inférieure à la limite fixée pour la métallurgie. C'est seulement d'une manière exceptionnelle que l'on rencontre des gisements dont les impuretés nuisibles aient une teneur élevée ; jusqu'à présent, bien que l'on ait reconnu un grand nombre d'affleurements, on n'en connaît qu'un seul, dans le voisinage de Miguel Burnier, conte-

nant le phosphore en proportion telle que le minerai soit invendable.

Outre le phosphore, quelques minerais contiennent du soufre, de l'arsenic, du nickel, du zinc et du cuivre, mais en proportions insuffisantes pour être préjudiciables à leur valeur industrielle.

La gangue est constituée principalement par de la silice, de l'alumine, de la chaux, de la magnésie et de la baryte ; ces substances entrent dans la composition des minerais sans nuire à leur qualité; la baryte atteint souvent la teneur élevée de 8 p. 100 et même plus.

Le fer entre habituellement dans la composition pour 5 p. 100 et plus.

La proportion d'oxydes de manganèse dans ces minerais est de 70 à 75 p. 100, correspondant à une teneur en manganèse métallique de 50 à 54 p. 100, chiffre fort élevé en tant que teneur moyenne d'un gisement.

Un élément important à considérer est l'eau hygrométrique, dont le poids est déduit du poids du minerai dans la détermination de sa valeur industrielle. L'eau hygrométrique qui, dans les analyses industrielles, est dosée conjointement avec les matières volatiles, entre avec ces dernières dans la proportion totale de 10 à 15 p. 100 dans la majorité des cas; cette teneur élevée est un grand inconvénient pour les minerais à transporter à de grandes distances.

Le tableau suivant résume les résultats de diverses analyses faites au Laboratoire de docimasie de l'École des Mines d'Ouro-Preto, et d'une analyse faite au laboratoire des usines du Creusot. Ces analyses représentent la composition moyenne des minerais des principaux gisements.

	LOCALITÉS							
	Minas-Geraes (analyse du Creusot)	Garganta do Marreco	Minerai de Miguel Burnier	Kilomètre 500 Chemin de fer central	Kilomètre 499 Chemin de fer central	Kilomètre 503 Chemin de fer central	Marreco Chemin de fer central	Chemin de fer d'Ouro-Petro
Perte au feu	......	......	......	14,750	15,200	13,500		
Eau hygrométrique	....	......	1,30					
Eau combinée	7,100	......	4,90	....	....	....	......	3,30
Résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique	....	2,60	......	0, 700	1,560	1,000		
Carbone	4,500							
Silice	8,700	......	0,70					
Chaux	0,300	......	traces	0,000	....	traces		
Magnésie		......	0,25	0,000	....	traces		
Alumine	11,000	......	1,93	2,000	4,600	5,700		
Sesquioxyde de fer	10,050	......	......	4,000				
Protoxyde de fer	....	......	1,34					
Sesquioxyde de manganèse	58,500							
Oxyde salin de manganèse	....	70,00	81,24	75,600	76,200	70,000	82,50	76,50
Protoxyde de manganèse	....	......	6,71					
Baryte	traces	......	1,00	2,300	1,840	8,800		
Acide phosphorique	0,260	......	traces	0,051	0,019	0,032		
— sulfurique	0,050	......	0,04					
— carbonique	....	......	traces					
— arsénique	0,028	......	traces					
Oxyde de cuivre	0,060							
— de nickel	....	......	0,30					
— de zinc	....	......	0,15					
Total	100,513	......	99,86	99,401	99,419	99,032		
Manganèse métallique p. 100	40,73	50,40	54,92	54,49	54,94	50,44	57,40	55,08

Description des gisements. — Les minerais de manganèse se rencontrent en petits filons dans les schistes micacés et dans les schistes argileux de Queluz, en veines de pyrolusite dans le gisement de Gandarela, ou bien sous la forme d'amas formant des gisements d'une importance considérable par leur extension et leur puissance. Les gisements qui se présentent sous cette dernière forme ne sont pas continus, ils forment des lentilles distribuées dans une zone qui s'étend sur une longueur d'un grand nombre de kilomètres, le long du chemin de fer central, entre Lafayette et Marianna.

Ces gisements situés le long du Chemin de fer central sont les seuls dont l'exploitation ait été attaquée ; les principaux centres d'exploitation sont Queluz et Miguel Burnier, localités situées respectivement à 462 et 498 kilomètres du port de Rio-de-Janeiro.

Ils sont compris dans le terrain primitif et forment des couches intercalées dans le Huronien.

Le minerai de manganèse y est constitué principalement par la manganite ($Mn^2O^3.HO$), avec plus ou moins grande abondance de pyrolusite (MnO^2) et avec des proportions variables d'autres oxydes moins stables. Il est intercalé dans l'itabirite, qui constitue le toit et le mur du gisement; ces couches d'itabirite sont en contact avec des couches d'argile qui contiennent des lits lenticulaires de sable.

Cette argile présente des colorations variées, et parfois devient complètement noire, à cause de la grande abondance de particules très fines d'oxydes de manganèse (jusqu'à 50 p. 100); celles-ci lui communiquent un éclat métallique, et cette argile arrive quelquefois à constituer un minerai de manganèse presque riche, mais très friable.

Au-dessus de cette argile vient une roche siliceuse contenant du fer et du manganèse, et qui parfois se rapproche de l'itabirite; mais, dans la plupart des cas, elle est constituée par de l'hématite hydratée.

Au dessus viennent les schistes argileux, décomposés à la surface et qui sont en stratification concordante avec les autres couches.

Méthodes d'exploitation. — Les gisements exploités jusqu'ici se trouvent, comme il a été dit, localisés à Miguel Burnier et à Queluz, le long du Chemin de fer central. A Miguel Burnier, deux sociétés exploitent le même gisement: ce sont Airosa et Cie, et Costa et Almeida. Les gisements de Queluz appartenaient d'abord à MM. Nascimento et Gerspacher, et maintenant ils appartiennent à la Société Airosa et Cie. Dans les deux gisements, on a adopté la méthode d'exploitation à ciel ouvert.

A Miguel Burnier, l'attaque du minerai se fait habituellement sans méthode bien caractérisée; on cherche, dans certains points où les couches sont verticales, à appliquer la méthode par gradins.

L'abatage du minerai se fait sans explosifs, simplement à l'aide de l'outillage ordinaire pour travaux d'abatage et de terrassement; dans l'établissement des gradins, on n'observe pas de dimensions déterminées; leur largeur et leur hauteur varient beaucoup; la hauteur atteint quelquefois des proportions exagérées, par exemple 5 mètres et même davantage.

Le minerai, une fois abattu, est conduit aux dépôts, au bord de

la ligne du chemin de fer ; pour ce transport on emploie soit (exceptionnellement) le char à bœufs, soit la brouette ou le wagonnet Decauville sur voie légère. Le wagonnet Decauville est le système le plus employé, et, quand les conditions locales le permettent, comme dans l'exploitation Costa et Almeida, on emploie avec grand avantage et économie le plan incliné automoteur à double effet.

Le minerai est mis en tas sur des plateformes, au bord de la ligne du chemin de fer central, pour être chargé et expédié à Rio-de-Janeiro.

L'extraction du minerai n'a lieu qu'après l'enlèvement des couches stériles qui recouvrent le gisement. La terre stérile des couches supérieures est jetée dans des gorges profondes, où elle s'accumule en grands tas de forme conique ; dans certains gisements, à cause du voisinage de la ligne du chemin de fer et à cause de l'inclinaison naturelle du terrain vers la ligne, on a des difficultés pour se débarrasser du stérile.

A cause de cette circonstance et pour des motifs divers, le prix de revient de l'extraction a atteint, dans le gisement de Airosa et C[ie], à Miguel Burnier, le taux moyen de 15.000 reis par tonne, qui est un prix excessif ; souvent ce prix est atteint dans des travaux à ciel ouvert exploitant des couches suffisamment profondes pour que l'exploitation souterraine fût préférable.

En même temps que l'extraction du minerai, on pousse habituellement des travaux de recherche ; ces travaux consistent uniquement en petits puits ouverts à la surface du sol et qui ne dépassent pas la profondeur de 2 mètres ; on a la précaution de les ouvrir au voisinage des affleurements.

Étude économique. — Les minerais extraits sont expédiés au port de Rio-de-Janeiro, et, de là, aux centres de consommation en Angleterre et aux États-Unis. Dans cette étude on n'a eu en vue que les exportations destinées à l'Angleterre ; mais il ne faut pas perdre de vue que le marché des Etats-Unis offre de plus grands avantages au producteur.

Dans l'analyse du prix de revient d'une tonne de minerai, il y a à considérer :

a) L'extraction du minerai de son gisement ;

b) Le transport jusqu'à Rio ;

c) Le tranport en Angleterre ;

d) Les frais généraux.

a) *Extraction du minerai.* — Le prix de revient de l'extraction est très variable et dépend naturellement de la plus ou moins grande profondeur à laquelle se trouve la couche minérale.

Quand on a commencé l'extraction à Miguel Burnier avec un minerai superficiel, on a obtenu le prix de 3.000 reis par tonne extraite. Mais, depuis, les conditions de l'extraction ont empiré, et on a atteint à ciel ouvert les prix de 12.000 reis et même 15.000 reis par tonne. Si on considère que le minerai est suffisamment friable pour dispenser de l'emploi des explosifs, et que, avec l'exploitation à ciel ouvert, on n'a pas encore atteint des profondeurs exagérées, on voit que le prix de revient de l'extraction est très élevé et que, nécessairement, il y a des améliorations à introduire dans cette partie de l'exploitation.

Il semble que, en organisant bien l'exploitation, on devrait pouvoir arriver à obtenir un prix moyen de 6.000 reis par tonne.

Transport de la mine au chemin de fer. — Les gisements sont situés le long de la ligne du chemin de fer central, à une distance inférieure à 1 kilomètre pour les exploitations actuelles. Malgré cela, les frais, comprenant l'amortissement du matériel, le chargement à la mine et le déchargement au chemin de fer central, s'élèvent en moyenne à 2.000 reis par tonne. On pourrait abaisser ce prix à 500 reis par diverses améliorations, notamment en faisant arriver jusqu'à la mine les propres wagons du chemin de fer central.

b) *Transport à Rio.* — Le minerai est transporté à Rio-de-Janeiro en wagons plateformes, d'une capacité de 12 tonnes, et il y a, à Lafayette, un transbordement, par suite du changement de largeur de la voie. Les frais de ce transport, y compris le transbordement, s'élèvent actuellement à 10.140 reis, et le chargement à Saõ Juliaõ à 200 reis.

A Rio, le minerai est déchargé directement des wagons dans des chalands qui appartiennent aux exploitants, et il est remorqué de là jusqu'aux navires d'embarquement. Ce service de déchargement dans les chalands, transport par chalands et chargement à bord, coûte environ 1.500 reis par tonne.

c) *Transport en Angleterre.* — Le fret est variable ; il descend quelquefois à 9 shillings avec des voiliers, et s'élève, par chargeurs à vapeur, à une moyenne de 12 shillings par tonne.

d) *Frais généraux.* — Les terrains comprenant les gisements de manganèse n'appartiennent habituellement pas aux exploitants ; d'ordinaire le propriétaire exige, comme indemnité, une

redevance fixe par tonne de minerai exporté, environ de 500 reis à 1.000 reis; et, en outre, 2.000 reis par mois pour chaque maisonnette ou cabane d'ouvrier élevée sur son terrain.

Les frais généraux et commissions, ainsi que les frais de gérance et administration, les impôts payés à l'État et à la municipalité, s'élèvent à environ 6.500 reis par tonne.

Quand l'exploitation se développera et que les services s'organiseront plus méthodiquement, ce chiffre de 6.500 reis pourra probablement s'abaisser à 4.500 reis.

Le tableau suivant résume le détail de ces frais de production et donne le prix de revient du minerai rendu sur le centre de consommation.

		Reis
a)	1° Extraction	12.000
	2° Transport au Chemin de fer central...	2.000
b)	1° Chargement au Chemin de fer central..	200
	2° Transport à Rio	10.140
c)	1° Déchargement à Rio, chalands et rechargement à bord	1.500
	2° Fret pour l'Angleterre	24.000
d)	1° Redevance aux propriétaires	1.000
	2° Frais d'administration, impôts, etc....	2.000
	3° Commissions et divers	4.500
	Total, au change de 6 (6 pence par milreis), par tonne	57.340

VALEUR DU MINERAI DANS LES CENTRES DE CONSOMMATION. — Le minerai de manganèse, rendu dans les centres de consommation en Angleterre, a une valeur de 1 shilling par tonne pour chaque unité p. 100 de manganèse métallique.

D'après le tableau d'analyses ci-dessus donné, les minerais du Brésil ont une teneur en manganèse métallique qui ne s'éloigne pas beaucoup de la moyenne de 50 p. 100.

Pour déterminer la valeur commerciale du minerai, on procède, à l'arrivée en Angleterre, à une série d'analyses sur les lots à vendre, et on calcule le manganèse métallique, en déduisant l'eau hygrométrique et les matières volatiles.

On peut prendre, sans erreur sensible, le chiffre de 10 p. 100 pour l'eau hygrométrique et les matières volatiles, ce qui réduit le titre des minerais de 50 p. 100 à 45 p. 100 de manganèse métallique.

A raison de 1 shilling par unité métallique et par tonne, au change de 6 (6 pences par mil-reis), le prix de vente représente 90.000 reis et laisse, par suite, un bénéfice net de 32.660 reis par tonne.

Influence du change. — L'influence du change est actuellement, pour l'industrie du manganèse au Brésil, un élément de prospérité essentiel. Il convient donc d'examiner dans quelles mesures les variations possibles du papier-monnaie brésilien dans l'avenir peuvent influer sur cette industrie.

Si l'on considère le tableau des frais qui forment le prix de revient, on voit qu'il y figure des éléments qui ne sont pas influencés directement par le change, et d'autres qui, au contraire, suivent les oscillations du cours du change.

Dans les frais qui n'obéissent pas à l'influence directe du change, il y a des éléments qui, comme la main-d'œuvre de l'extraction, varient à la longue et indirectement avec le change.

C'est seulement la redevance au propriétaire des terrains qui est complètement étrangère au change. On peut donc dresser le tableau suivant :

I. Élément invariable avec le change.	1° Redevance au propriétaire ;	
	2° Impôts.	
II. Élément variant à la longue et indirectement avec le change	1° Main-d'œuvre.	1° Extraction ;
		2° Transport au Chemin de fer ;
		3° Chargements, déchargements ;
		4° Frais généraux ;
	2° Transport par le Chemin de fer central ;	
III. Élément payé en monnaie or ..	Fret sur l'Angleterre ;	
	Commissions, frais pour la vente, etc.	

Il est clair que les divers sous-éléments dans lesquels se subdivise le prix de revient varient suivant une loi trop capricieuse pour que l'on puisse établir à l'avance un calcul mathématique de leurs variations avec le change ; néanmoins, en faisant entrer en ligne de compte tous les cas probables, on peut arriver à des résultats suffisamment approchés.

La main-d'œuvre doit être examinée d'abord, comme l'un des éléments importants du prix de revient. Le papier-monnaie du

Brésil s'est déprécié peu à peu de 400 p. 100, et en même temps les salaires n'ont haussé que d'environ 100 p. 100. Si le change venait à monter et à revenir au pair, les salaires pourraient diminuer un peu, mais seulement lentement et à la longue, d'autant plus que, avec la hausse du change, de nombreuses industries se développeraient sans doute, et cela rendrait la main-d'œuvre plus rare et plus chère.

En ce qui concerne les frais de transport par le chemin de fer central, il est probable qu'ils ne pourront guère être réduits, et le tarif qui était en vigueur au commencement de 1897, à savoir 8.000 reis par tonne pour un parcours d'environ 500 kilomètres, ne peut, réellement, guère être abaissé. Actuellement le manganèse jouit, sur le Chemin de fer central, d'un prix de faveur qui représente une réduction de 40 p. 100 sur les tarifs les plus bas.

Ainsi, avec la hausse du change, le prix de vente (évalué en papier-monnaie aujourd'hui déprécié) diminuera dans une forte proportion, tandis que les éléments du prix de revient pourront (et encore quelques-uns d'entre eux seulement) diminuer lentement et à la longue, mais dans une proportion bien moins accentuée.

Quantités exportées. — Les quantités de minerai de manganèse sorties par le port de Rio ont été les suivantes, d'après les relevés officiels :

	Tonnes.
1895	6.765
1896	13.020
1897	17.967
Janvier-août 1898	11.141

Extrait de la brochure O Manganez no Brazil, par M. M. Arrojado Ribeiro Lisboa ; *traduction de* M. A. Thiré, Ingénieur civil des Mines, professeur à l'École des Mines d'Ouro-Preto).

GITES DE FER DE KIRNNAVARA ET LUOSSAVARA (SUÈDE).

Les études faites en vue du prolongement jusqu'à la côte norwégienne, à la hauteur des îles Lofoten, du chemin de fer qui, partant de Luléa sur la Baltique, s'arrête aujourd'hui à Gellivara, ont appelé l'attention sur d'importants amas de minerai de fer à portée desquels doit passer la ligne projetée. Ces gisements, connus, du reste, depuis longtemps, mais demeurés inexploités jusqu'ici, en raison de leur éloignement de la côte et de l'absence de tout moyen de transport, ont fait récemment l'objet d'une étude spéciale de la part d'un ingénieur géologue, M. Lundholm, chargé par l'État d'une mission à cet effet. M. Lundholm a fait parvenir au *Kommers-Kollegium* le résultat de ses travaux, qui peut se résumer comme suit.

Les gisements de minerai de Kirnnavara et Luossavara sont, au point de vue de la quantité, les plus considérables de la péninsule scandinave. Ils consistent, pour la plus grande partie, en magnétite mélangée parfois d'hématite.

A Kirnnavara, le minerai est accumulé en masse compacte sur une longueur de 3 kilomètres et demi. Il forme une chaîne de petites collines s'élevant de 178 à 249 mètres au-dessus du lac voisin de Luossajarvi. La puissance du gîte varie de 34 à 152 mètres et paraît diminuer en profondeur. Quoi qu'il en soit de cette circonstance, sur laquelle on ne peut encore se prononcer définitivement, et en la supposant établie, la quantité de minerai existante au-dessus du niveau du lac a été évaluée à 215 millions de tonnes, des quantités considérables, pour lesquelles on ne saurait aujourd'hui indiquer un chiffre, devant se trouver, en outre, au-dessous de ce niveau.

A Luossavara, on constate l'existence de plusieurs amas. Des explorations magnétiques et quelques forages ont permis de constater que le plus étendu et le plus important s'étend sur une longueur de 1 kilomètre et demi et une épaisseur de 30 à 55 mètres, et un sondage a montré que l'inclinaison du gîte, prise à l'extrémité sud, était de 75° et que l'épaisseur diminuait avec la profondeur. Une évaluation de la quantité, avec les données actuellement acquises, ne saurait être tentée; cependant, en admettant

que la puissance décroisse en profondeur, comme paraît l'indiquer le sondage pratiqué, on peut évaluer à 18 millions de tonnes le minerai existant au-dessus du niveau du lac.

On peut donc estimer que, dans les deux gisements, il existe au moins 233 millions de tonnes de minerai au-dessus du niveau des eaux, et l'on est certain qu'il y en a encore une masse considérable au-dessous de ce niveau. De plus, une partie importante du gîte pourra être exploitée à ciel ouvert.

Une circonstance particulièrement intéressante au point de vue de l'exploitation, c'est qu'à Kirnnavara et, vraisemblablement aussi, à Luossavara, autant qu'on peut en juger d'après les recherches faites, le minerai est compact, sans mélange de roche stérile. Il se présente partout en masse dure, traversée par de nombreuses fissures, de telle sorte qu'à l'abatage à la dynamite il tombe en menus morceaux, mais non en poussière. Il offre, du reste, plusieurs variétés. Au point de vue, notamment, de la teneur en phosphore, qui influe sur la valeur et sur la qualité du métal, on peut distinguer plusieurs sortes, qui tantôt se rencontrent séparément, tantôt sont intimement mélangées et doivent alors être traitées en même temps. Ce sont :

a) Du minerai à très faible teneur de phosphore, de 0,03 p. 100 ou, exceptionnellement, au dessous, jusqu'à 0,1 p. 100 ;

b) Du minerai avec teneur moyenne de phosphore de 0,1 à 0,8 p. 100 ;

c) Du minerai avec haute teneur de phosphore, de 0,8 à 1,5 p. 100 ;

d) Du minerai avec très haute teneur de phosphore, de 2 à 3 p. 100 et, parfois, jusqu'à 5 et 6 p. 100.

A Luossavara, la plus grande quantité du minerai contient de 0,1 à 0,8 p. 100 de phosphore. A Kirnnavara, la masse a une teneur plus forte, en moyenne plus de 1 p. 100, très souvent de 1 à 3 p. 100, et dans quelques parties, qui ne sont pas sans importance, de 4 à 5 p. 100. En somme, on peut dire que le minerai de fer de Kirnnavara est plus phosphoreux qu'aucun autre minerai connu exploitable en grande masse.

L'apatite, à la présence de laquelle le minerai de ces gisements doit sa teneur en phosphore, se présente tantôt à l'état d'extrême division dans la magnétite, tantôt sous une forme granuleuse, mais toujours trop intimement unie au minerai de fer pour qu'on puisse, par un procédé mécanique, l'éliminer assez complètement pour constituer un minerai pauvre en phosphore.

En dehors de l'apatite, il y a peu de matières mélangées au

minerai, de sorte que la teneur en fer est très considérable. Dans plus de 60 p. 100 des essais faits sur des minerais pris à Kirnnavara, la teneur a varié de 67 à 71 p. 100, et dans 21 p. 100 de 60 à 67 p. 100.

A Luossavara, la teneur moyenne a été de 67 à 70,55 p. 100. Les forages ont prouvé que le minerai profond varie, au point de vue de la teneur en phosphore et en métal, comme celui de la surface. Dans les couches profondes on rencontre parfois du spath d'Islande.

La teneur en soufre ne dépasse qu'exceptionnellement 0,05 et 0,08 p. 100. La teneur en titane, d'après les recherches faites jusqu'à ce jour, varie de 0,32 à 0,95 à Kirnnavara, et de 0,94 à 1, et un peu au-dessus, à Luossavara.

(*Extrait d'un* Rapport adressé à M. le Ministre des Affaires étrangères, par M. Teyssier, *chargé d'affaires de la République Française à Stockholm.*)

NOTE
SUR LES CHOCS CAUSÉS PAR L'EAU
DANS
LES CONDUITES DE VAPEUR
ET SUR LES RUPTURES DE VALVES EN FONTE

**Par M. C. WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines,
Rapporteur près la Commission centrale des Machines à vapeur.**

I

On ne se méfie pas assez, dans l'installation des conduites de vapeur, des chocs auxquels peut donner lieu l'eau de condensation que certaines dispositions de tuyauterie laissent s'accumuler. Les effets de ces chocs sont particulièrement dangereux, lorsqu'ils s'exercent contre les parois des boîtes des valves de prise ou d'admission de vapeur; ces boîtes sont généralement en fonte et ne sauraient impunément subir l'assaut des coups de marteau d'eau. De là des ruptures de ces boîtes de valves, qui entraînent parfois de graves accidents de personnes et sur lesquelles M. le Ministre des Travaux publics, par une circulaire en date du 4 janvier 1899, vient de prescrire aux ingénieurs en chef des Mines de faire appeler l'attention des usagers de chaudières à vapeur.

Lorsqu'un tuyau forme cul-de-sac, l'une de ses extrémités étant fermée ou presque fermée par une valve close ou seulement entr'ouverte, et que dans ce tuyau

un paquet d'eau est mis en mouvement vers l'extrémité fermée sous l'action de vapeur vive affluant à l'autre extrémité, il arriverait, si le tuyau contenait de l'air ou un gaz analogue, que ce gaz, plus ou moins emprisonné entre la masse d'eau en mouvement et l'extrémité fermée du tuyau, serait comprimé par ce piston liquide, formerait tampon élastique et amortirait le choc. Mais quand c'est seulement de la vapeur d'eau qui coexiste dans le tuyau avec le liquide, les choses ne se passent pas ainsi. La vapeur d'eau interposée entre le piston liquide et le fond du tuyau ne peut subsister, eu égard à la rapidité avec laquelle elle cède sa chaleur au liquide, qu'à la température de l'eau et des parois humides et à la tension de saturation correspondant à cette température. Si les circonstances faisaient qu'à un instant donné cette vapeur fût à une température et à une tension supérieures, elle subirait immédiatement, au contact de l'eau et des parois, et pour ainsi dire subitement si le contact était suffisamment étendu, une condensation partielle, et ce qui subsisterait à l'état de vapeur se trouverait ramené à l'état ci-dessus. Quand le piston liquide s'avance contre cette vapeur plus ou moins emprisonnée et en réduit le volume, elle ne passe pas nécessairement à une tension supérieure ; il peut même arriver qu'elle se condense dans le même temps avec une rapidité telle que sa pression s'abaisse, qu'il se produise par suite un appel de plus en plus énergique de la masse en mouvement ; finalement il y a choc.

La théorie ne permet guère de calculer l'intensité des forces mises en jeu par les phénomènes de ce genre ; mais elle admet que ces forces puissent être considérables. En fait, les chocs de cette nature donnent lieu, dans certaines circonstances, à des effets d'une intensité surprenante. C'est ce qu'ont mis en évidence, notamment, les expériences effectuées aux ateliers de construction de la

marine allemande, à Wilhelmshaven (*), et déjà signalées à l'attention des lecteurs des *Annales des Mines* par M. Raymond (**). Rappelons seulement l'une d'elles : Un tube de 31 cm de diamètre et $6^m,88$ de longueur, en cuivre de 6 mm d'épaisseur, fermé aux deux bouts, et légèrement incliné sur l'horizontale, contient une certaine quantité d'eau. Cette eau n'occupe nulle part la section entière du tube; là où elle est le plus abondante, c'est-à-dire à l'extrémité basse, le plan d'eau se trouve à $0^m,23$ au-dessus de la génératrice inférieure; à l'autre extrémité, cette génératrice ne se trouve couverte que de 2 cm d'eau, la différence de niveau entre les deux bouts du tube étant $0^m,21$. A l'extrémité la plus basse, au-dessous du niveau de l'eau, on fait arriver de la vapeur; cette vapeur est amenée de la conduite générale de l'atelier, qu'alimentent des chaudières dont la pression de fonctionnement est 5 kg par cm^2, par un branchement de 8 cm de diamètre que termine une soupape à main de 50 mm. A l'autre extrémité du tube, se trouvent deux robinets d'évacuation, l'un près de la génératrice inférieure, l'autre près de la génératrice supérieure; ces robinets sont laissés ouverts. — Au début, il se faisait une évacuation régulière d'eau et d'air respectivement par ces deux robinets; puis, au bout d'un temps d'autant moins long que la soupape d'arrivée de vapeur était plus largement ouverte, survenaient des secousses et des réactions violentes; les robinets d'évacuation de l'extrémité haute du tube crachaient par à-coups, et quatre manomètres à maxima, dont 3 placés le long de la génératrice supérieure et le 4e greffé sur l'obturateur de l'extrémité haute

(*) *Recherches sur les causes des ruptures de tuyaux à bord des navires de Sa Majesté*, effectuées aux chantiers impériaux de Wilhelmshaven (*Marine Rundschau*, 5e année, mars 1894, p. 77 et suiv.).

(**) *Note au sujet de l'alimentation des chaudières dans la vapeur* (*Annales des Mines*, 9e série, t. XII, p. 533 et suiv.).

du tube, accusaient des efforts parfois considérables. Lors d'un essai où la soupape d'arrivée de vapeur était ouverte aux 3/5, les trois premiers manomètres marquèrent respectivement 34, 27, 65 kg par cm², celui du bout fut brisé, l'obturateur portant ce manomètre fut bombé et le tube lui-même gonflé à son extrémité. Lors d'un autre essai, avec même ouverture de la soupape d'introduction de vapeur, les manomètres de la génératrice supérieure marquèrent 22, 13 et 60 kg par cm²; celui du bout, gradué jusqu'à 150 kg par cm², dépassa la limite de sa graduation, et le tube se déchira, au voisinage de son extrémité haute, sur une longueur de 21 cm.

Les observations et les expériences de M. Moritz (*) et de M. Raymond (**) ont montré, de la façon la plus claire, que c'est à des effets du même genre qu'il faut attribuer ces chocs alarmants et d'abord inexpliqués, qui, à bord de plusieurs bâtiments de la flotte française, ont ébranlé les tuyaux d'alimentation débouchant dans la vapeur des chaudières. Ainsi, lorsque ces tuyaux se prolongeaient à l'intérieur de la chambre à vapeur par une pipe horizontale, il arrivait, à certains moments, par suite de la discontinuité de l'action de la pompe alimentaire, que l'eau relativement froide injectée par cette pompe s'étalait rapidement sur une partie seulement de la section de la pipe. La vapeur, après avoir occupé au-dessus de cette eau l'espace laissé libre dans la pipe et dans la boîte du clapet régulateur d'alimentation, s'y condensait presque aussitôt par l'effet de son contact étendu avec l'eau et avec les parois froides de la boîte du clapet; un appel énergique de vapeur sous pression avait lieu à l'extrémité libre de la pipe, et le liquide, violemment refoulé dans le sens de

(*) *Note sur les chocs dans les tuyautages d'alimentation des chaudières* (*Annales des Mines*, 9e série, t. XII, p. 513 et suiv.).

(**) *Loc. cit.* — Les mémoires de M. Moritz et de M. Raymond portent tous les deux la date d'août 1893.

cet appel, allait faire marteau d'eau à l'autre extrémité de la pipe et dans la boîte du clapet. Il a suffi à M. Raymond de reproduire artificiellement ce phénomène dans une pipe mesurant 5 cm de diamètre, 1m,40 de longueur, et crépinée à sa partie inférieure sur la moitié de cette longueur, à l'intérieur d'un récipient contenant de la vapeur à la pression de 11 kg par cm², pour obtenir des chocs qui ont cassé le joint de boîte à clapet et gonflé la pipe sur une longueur de 15 cm.

C'est vraisemblablement à des phénomènes plus ou moins analogues qu'il faut rapporter les coups d'eau qui se produisent dans certaines tuyauteries de vapeur et viennent briser la fonte des boîtes de valves. M. Schmidt, dans des communications faites en 1892 et en 1896 aux Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de Propriétaires d'appareils à vapeur (*), en a déjà montré des exemples. On se propose, dans ce qui suit, de résumer quelques accidents récents dont le rapprochement paraît instructif.

II

Le 9 août 1897, dans une station électrique sise à Villefranche (Rhône), la boîte d'une valve de prise de vapeur s'est rompue, et il en est résulté, pour le chauffeur de l'usine, des brûlures qui ont entraîné trois mois d'incapacité de travail.

Cette station électrique possède deux chaudières Babcock et Wilcox, qui fonctionnent alternativement et servent de rechange l'une à l'autre. Elles sont timbrées pour la

(*) *Compte rendu des séances du XVIe Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur*, page 68 : Accident à un clapet d'arrêt de vapeur. — *Compte rendu des séances du XXe Congrès*, page 28 : Explosion partielle d'un clapet d'arrêt de vapeur dans une distillerie.

pression de 10 kg par cm² et fonctionnent normalement à celle de 7. La *fig.* 1 donne le plan de cette installation. C'est la chaudière n° 2, ou chaudière de droite, qui se trouvait en pression ; c'est la valve de prise de vapeur de la chaudière n° 1 ou de gauche, la chaudière froide, qui a donné lieu à l'accident.

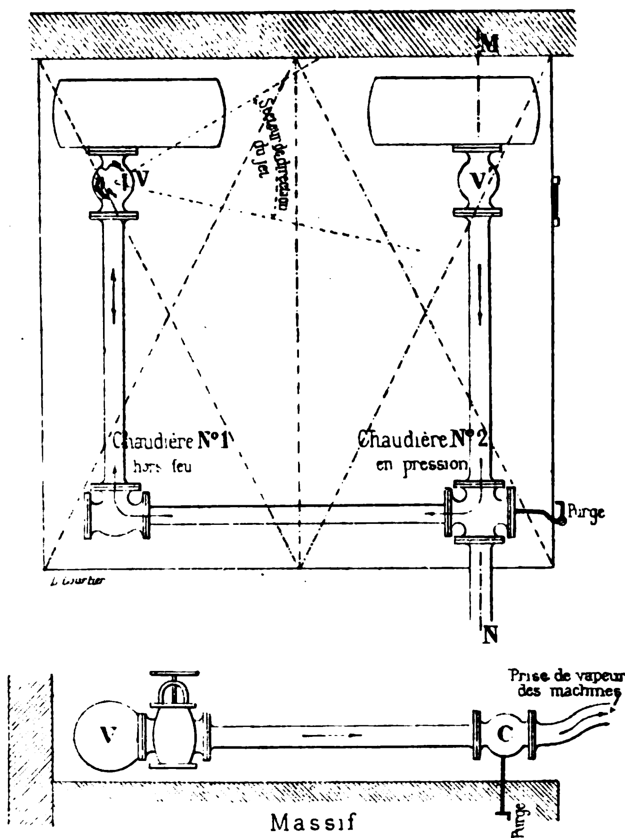


Fig. 1 et 2. — Plan de l'installation, à Villefranche, et coupe suivant MN.

Les *fig.* 1 et 2 montrent qu'à partir des deux valves de prise de vapeur V et V', qui sont placées à l'arrière de la

plate-forme supérieure des massifs, deux tuyaux courent horizontalement d'arrière en avant sur cette plate-forme; à l'avant ils sont reliés l'un à l'autre par un tuyau transversal; cet ensemble de tuyaux horizontaux forme les trois côtés d'un rectangle, et c'est de l'un des angles de ce rectangle, du point C, que part la conduite allant aux machines, laquelle se relève à un niveau supérieur. Par conséquent, dans l'ensemble des trois tuyaux horizontaux, l'eau de condensation a tendance à s'accumuler. Elle s'y accumule, en effet, durant l'arrêt quotidien des machines, la vanne de prise de vapeur de la chaudière qui reste en pression laissant passer un peu de vapeur, soit qu'on ne la serre pas à fond, soit qu'elle ne soit pas tout à fait étanche.

Un purgeur est disposé à l'angle C d'où part la conduite allant aux machines; il fallait longtemps à ce purgeur pour évacuer toute l'eau de condensation de la tuyauterie; le jour de l'accident, par suite de circonstances quelconques, il est manifeste que la tuyauterie contenait une certaine quantité d'eau, lorsque le chauffeur se mit en devoir d'ouvrir la prise de vapeur de la chaudière de droite.

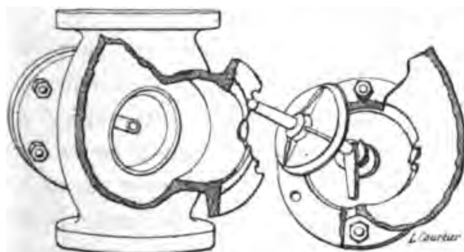


Fig. 3. — Rupture de la valve V de la chaudière n° 1 (Villefranche).

En effet, ce chauffeur, monté sur le massif et tenant en main le volant de la prise de vapeur, avait tourné ce volant de 4 ou 5 tours, lorsqu'il entendit un claquement dans la tuyauterie. Il continua d'ouvrir; mais il entendit

un second claquement plus violent, et aussitôt la boite de valve V de la chaudière froide se brisa, de la manière représentée *fig.* 3, livrant passage à un jet qui fut assez violent pour aller marquer d'un sillon large et profond l'enduit du mur de fond de la chaufferie. Brûlé et aveuglé, le chauffeur ne put retrouver l'échelle et tomba en bas du massif, d'une hauteur de 3^m,50.

La section de rupture de la fonte était saine. Les claquements entendus par le chauffeur ne laissent aucun doute sur la nature de l'accident.

III

Non moins caractéristiques sont les circonstances d'un grave accident survenu, le 5 janvier 1898, dans une filature, à Tourcoing. Ici la valve de prise de vapeur qui s'est brisée est celle même qu'on manœuvrait. Le chauffeur occupé à cette manœuvre a été brûlé par l'eau et la vapeur, atteint par les débris de la valve, et il est mort le lendemain.

L'installation comprend, comme le montrent les *fig.* 4 et 5, cinq générateurs, dont quatre chaudières à grand volume et un générateur Babcock et Wilcox. Les quatre grandes chaudières ont leurs prises de vapeur sensiblement au même niveau, tandis que la prise de vapeur de la chaudière Babcock et Wilcox est en contre-bas de 1^m,50 ou 1^m,75 par rapport aux autres. Comme déjà chacune des prises de vapeur des grandes chaudières est reliée au collecteur général de vapeur par un branchement en forme d'U renversé, dont la partie horizontale est à 1 m ou 1^m,25 au-dessus de la valve correspondante, il en résulte que le tuyau partant de la valve de la chaudière Babcock et Wilcox s'élève à une hauteur de 2^m,65 au-dessus de la bride supérieure de cette valve, avant de venir se raccorder sur la partie horizontale du branchement de la chaudière à grand corps voisine.

Dans la journée, la chaudière Babcock et Wilcox coo-

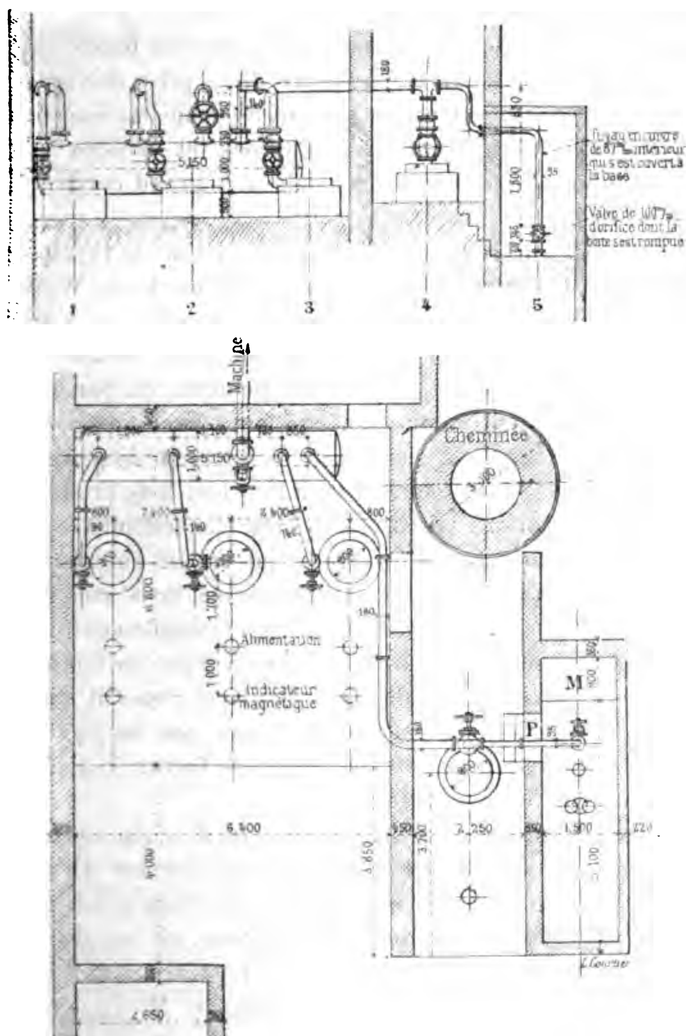


FIG. 4 et 5. — Coupe et plan de l'installation, à Tourcoing.

père avec les générateurs à grand corps à la production

générale de vapeur. Pour la nuit, tandis que ceux-ci sont laissés en communication avec le collecteur général, la chaudière Babcock et Wilcox, où la pression baisse rapidement, est isolée par la fermeture de sa prise de vapeur. On rouvre cette valve le matin, après avoir fait remonter la pression dans la chaudière Babcock et Wilcox à la même valeur que dans la chaudière à grand corps voisine.

Il résulte de là que, pendant toute la nuit, le tuyau qui surmonte la valve de la chaudière Babcock et Wilcox forme un cul-de-sac où l'eau de condensation s'accumule et se refroidit. Ce tuyau, ayant un tracé doublement coudé, offre environ 4 m de développement, et, par suite, son diamètre intérieur étant 87 mm, une capacité de 24 litres ; c'est un tuyau de cuivre de 4 mm d'épaisseur.

Chaque matin, lorsqu'on ouvrait la valve, il se produisait dans ce tuyau des vibrations et des claquements.

Six semaines avant l'accident qui devait entraîner la mort du chauffeur, la valve s'était fendue, mais sans s'ouvrir en grand. On l'avait purement et simplement remplacée par une autre pareille : valve à boite en fonte, de forme extérieure ovoïde, dont le clapet reposait sur un siège de 90 mm de diamètre. Cette pièce, que les *fig*. 6 à 8 représentent après sa rupture, avait été éprouvée à 15 kg par cm^2 par le constructeur.

Le 5 janvier, quelques minutes avant 6 h. du matin, le chauffeur procédait à la manœuvre quotidienne d'ouverture de cette nouvelle valve, lorsqu'elle céda à son tour, mais cette fois d'une manière violente, en se divisant comme l'indiquent les *fig*. 6 et 7. « La partie antérieure, avec le volant de manœuvre, rapporte M. l'ingénieur des mines Herscher, fut projetée et renversa le malheureux ouvrier dans l'espèce de fosse (de 90 cm de large et 85 cm de profondeur), située en contre-bas de la plate-forme de la chaudière (en M de la *fig*. 5). Quand

on put pénétrer dans la chambre où il se trouvait, ce qui fut long, la plate-forme n'ayant d'autre dégagement que la porte (P) par laquelle la plate-forme de la chaudière Babcock communiquait avec celle de la chaudière à grand corps voisine(*), le chauffeur était couvert de brûlures qui entraînèrent sa mort le lendemain de l'accident. On

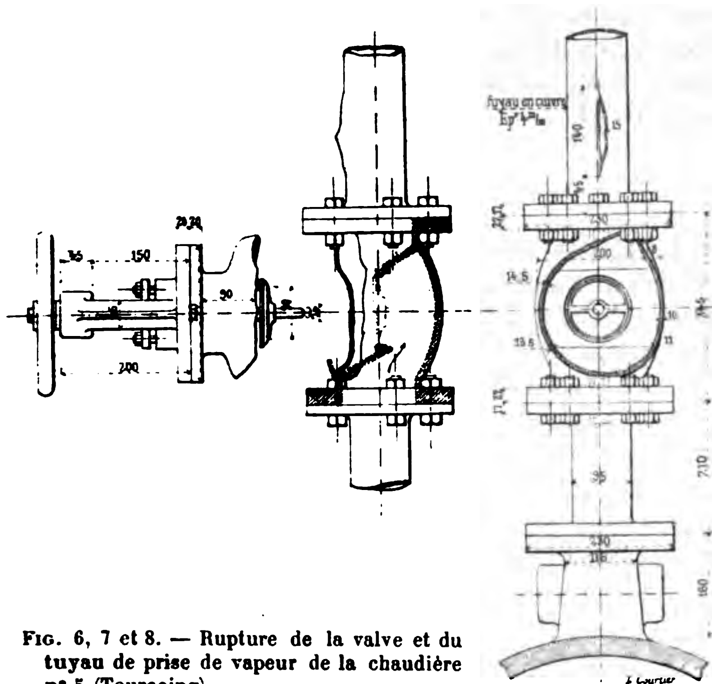


Fig. 6, 7 et 8. — Rupture de la valve et du tuyau de prise de vapeur de la chaudière n° 5 (Tourcoing).

a constaté que la vis de manœuvre avait été tournée de trois tours environ depuis sa position correspondant à la fermeture du clapet. Celui-ci était ainsi ouvert de 7 mm environ. »

(*) Les clapets automatiques d'arrêt de vapeur, dont les autres chaudières étaient pourvues, ont bien fonctionné et ont empêché le déversement de la vapeur de ces chaudières.

La fonte brisée était saine. Il est vrai que son épaisseur, par suite sans doute d'un décentrage du noyau, était irrégulière : elle variait de 8 mm à $14^{mm},5$. Mais ce qui prouve d'une manière irréfutable que la rupture de la pièce s'est produite sous un effort anormal et intense, c'est que l'explosion de cette boîte n'a pas été la seule avarie; le tuyau de cuivre, de son côté, s'est fendu au voisinage de son extrémité inférieure, suivant une génératrice, sur 14 cm de longueur, en formant une boutonnière de 15 mm de bâillement, ainsi qu'on le voit *fig.* 7 et 8.

IV

Le 15 juin 1898, c'est dans une fabrique de rubans, à Wervicq (Nord), qu'un accident du même genre est survenu, causant au chauffeur des brûlures qui ont entraîné une incapacité de travail de cinq semaines. Comme dans le cas précédent, la boîte qui s'est rompue est celle d'une valve de prise de vapeur qui terminait un cul-de-sac où l'eau de condensation devait s'accumuler, et la rupture s'est produite au moment où le chauffeur venait d'ouvrir légèrement cette valve.

Les dispositions générales de l'installation sont indiquées *fig.* 8 et 9. Les chaudières, au nombre de deux, sont timbrées à 8 kg ; chacune d'elles offre une capacité de 13 m^3; on n'en a représenté, sur le dessin, que les réservoirs supérieurs de vapeur. Le réservoir de la chaudière n° 2 est à un niveau un peu inférieur à celui de l'autre chaudière, de sorte qu'à partir de la valve de 14 cm, qui sert d'organe de prise de vapeur sur cette chaudière n° 2, le tuyau de 15 cm de diamètre, qui fait suite à cette valve, présente une inclinaison montante, mais très légère, atteignant à peine $3\frac{1}{2}$ p. 100 ; ce tuyau se relève en effet de $0^m,12$ sur une

longueur de $3^m,50$; comme son diamètre est $0^m,15$, on voit qu'il peut avoir, à un moment donné, sur toute sa longueur, de l'eau n'occupant qu'une partie de sa section.

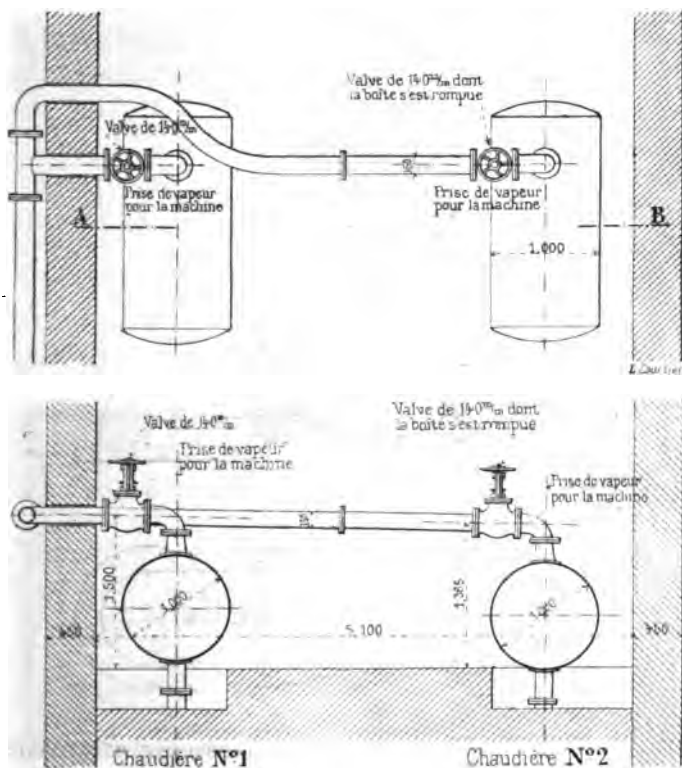


Fig. 9 et 10. — Coupe et plan de l'installation, à Wervicq.

Au début de la journée de travail, quand les deux générateurs devaient fonctionner simultanément, le chauffeur avait, paraît-il, l'habitude d'ouvrir d'abord la valve du n° 1, puis celle du n° 2 qui avait en général, à ce moment, une pression moins forte que l'autre. Cet ouvrier rapporte qu'à l'ouverture de la valve du n° 2 il se produisait toujours des chocs violents ; quelque temps avant l'acci-

dent, le bruit produit un certain jour aurait été assez fort pour l'effrayer. Le 15 juin au matin, voici quel a été, au rapport de M. l'Ingénieur des Mines Herscher, le

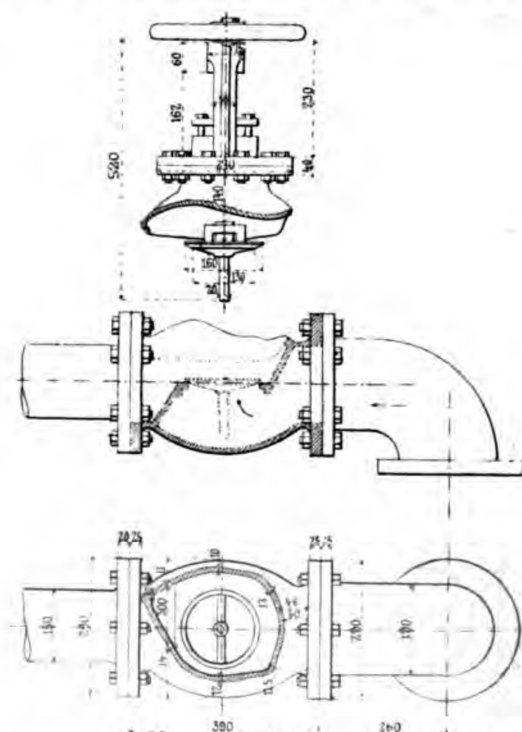


Fig. 11, 12 et 13. — Rupture de la valve de la chaudière n° 2 (Wervicq).

détail des faits : « Le chauffeur, en arrivant à 5 h. 1/2 à l'usine, alla tout d'abord, d'après sa déposition, ouvrir le purgeur de la valve du générateur n° 1 dont la pression à ce moment était de 6 kg environ. La pression à la chaudière n° 2 était de 4 kg à peu près lorsqu'il essaya d'ouvrir sa valve, qui était assez dure. Avec effort il réussit à soulever très légèrement le clapet. Aussitôt la partie supérieure de la boite se détacha. »

La manière dont cette boite s'est divisée est représentée *fig*. 11, 12 et 13. La fonte était saine, sans apparence de cassure ancienne, et sans autre défaut que l'inégalité d'épaisseur que l'on constate bien souvent dans les pièces de fonte de ce genre : l'épaisseur, mesurée le long de la cassure, variait de 10 à 17 millimètres.

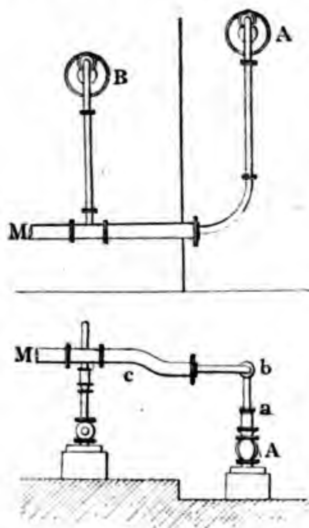


FIG. 13 et 14. — Installation du tuyau de prise de vapeur qui s'est rompu le 2 octobre 1896, à Roubaix.

Il est particulièrement instructif de rapprocher de cet accident les circonstances d'une rupture de tuyau de prise de vapeur, dont MM. Olry et Bonet ont rendu compte, en 1897, au Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Pour l'intelligence de ce qui suit, nous reproduisons ci-dessus, *fig*. 13 et 14, la partie la plus essentielle du dessin annexé à la communication de MM. Olry et Bonet. L'installation, qui était celle d'une usine de Roubaix, comprenait trois générateurs placés côte à côte et ayant

leurs prises de vapeur, telles que B, reliées par des branchements en col de cygne à une conduite collectrice commune M de 33 cm de diamètre; puis, à l'extrémité droite de cette batterie, un quatrième générateur, du type Galloway, avait sa prise de vapeur A placée à un niveau un peu inférieur et reliée au collecteur M par un branchement de 16 centimètres de diamètre, de la manière que montrent clairement les dessins.

Comme l'ont fait judicieusement remarquer MM. Olry et Bonet, il résulte de cette disposition « qu'en cas d'arrêt du générateur n° 4, de l'eau condensée vient s'accumuler au-dessus de la valve de prise de vapeur de cet appareil : le niveau de cette eau peut s'élever jusqu'à hauteur des débouchés des tuyaux de vapeur des trois autres chaudières dans la conduite collectrice; elle commence donc par remplir la partie verticale *ab* ; après quoi elle s'étale dans la partie horizontale *bc* ; à partir de ce moment, sa surface libre se trouve en très large contact avec la vapeur de la conduite.

« Pour permettre l'évacuation de cette eau, on avait placé en haut de la valve de prise de vapeur du générateur n° 4 un robinet de purge, suivi d'un tuyau d'écoulement.

« Le matin, lors de la mise en marche, le chef mécanicien ouvrit légèrement ce robinet, pour faire sortir l'eau qui avait dû se condenser en assez grande quantité pendant la nuit. Quelques instants après, l'alimenteur survint, et — on ignore pourquoi — ouvrit en grand ce même robinet. Cette manœuvre occasionna presque aussitôt des chocs violents et un ébranlement général de toute la conduite de vapeur; l'alimenteur se précipita alors sur le robinet (de purge) pour le fermer, mais, au même instant, le tuyau *ab* se déchira au voisinage du point *a*, en laissant échapper des fluides brûlants, par lesquels cet ouvrier fut si grièvement blessé qu'il succomba quelques heures

après... La déchirure suivait la brasure sur une longueur de 0m,75 ; elle se terminait en pointe vers le haut ; du côté opposé, à proximité de la bride en contact avec le clapet de retenue de vapeur de la chaudière, elle s'étendait transversalement sur la moitié environ de la section du tuyau ; la plaie avait une ouverture maxima de 0m,16 (*). »

Il est probable que, dans ce cas, l'ouverture du robinet de purge a produit un effet équivalent au commencement d'ouverture de la valve lors de l'accident de Wervicq.

Dans un cas comme dans l'autre, par l'effet de l'écoulement et à raison du tracé de la tuyauterie, il a dû arriver qu'à un instant donné l'eau de condensation, après avoir occupé sur une longueur notable une partie seulement de la section d'un tuyau horizontal ou presque horizontal, s'est trouvée mise en mouvement, poussée d'un côté par la vapeur vive, et arrivant à former un piston liquide en arrière duquel il y avait le vide, ou peu s'en faut, puisque la vapeur s'y trouvait en contact étendu avec l'eau et les parois froides.

V

Nous mettrons encore en regard de ces accidents deux cas plus anciens de ruptures de boîtes de prise de vapeur, qui ont présenté l'un avec l'autre de frappantes analogies, et dont, à l'époque, les causes ont paru incertaines ou incomplètement précisées. Ces ruptures se sont produites, l'une le 18 avril 1891, dans une minoterie à Por-

(*) *Compte rendu des séances du XXIe Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur :* 22e question Accidents de tuyauteries de vapeur : Note de MM. Olry et Bonet, p. 275. Voir dans le même volume, p. 286, un accident cité par M. Walther-Meunier et considéré par lui comme attribuable avec vraisemblance à un coup d'eau, et, p. 289, le cas cité par M. Compère d'un tuyau d'alimentation dans la vapeur, qui s'est à plusieurs reprises gonflé et rompu ; il s'agit ici apparemment d'un fait analogue à ceux étudiés par MM. Moritz et Raymond.

nic (Loire-Inférieure), l'autre pendant la nuit du 9 au 10 juillet 1896, dans une brasserie, à Paris. La production des coups de marteau d'eau n'y apparaît pas avec la même évidence qu'à Villefranche, à Tourcoing ou à Wervicq ; on retrouve cependant, dans la physionomie de ces accidents, des traits qui s'expliquent bien par l'intervention de cette cause commune.

Dans l'un et l'autre de ces deux cas, comme dans l'accident de l'usine électrique de Villefranche, l'établissement possédait deux chaudières, dont l'une était en pression et l'autre froide, et c'est la boite de la valve de prise de vapeur de la chaudière froide qui s'est brisée. Mais, tandis qu'à Villefranche la rupture s'est produite à l'ouverture de la prise de vapeur de la chaudière en pression, à Pornic et à Paris c'est la valve même du générateur inactif que le chauffeur s'occupait de manœuvrer, lorsque la boite de cette valve a fait explosion. Notons qu'il s'agissait de valves neuves, et de conduites dont la disposition était nouvelle ; car, tant à la minoterie de Pornic qu'à la brasserie de Paris, la chaudière froide était une chaudière récemment installée, qui n'avait pas encore servi ou n'avait été allumée que pour essais.

Dans la première de ces usines, la chaudière ancienne était timbrée à 6 kg, la nouvelle à 7. Leurs valves de prise de vapeur, d'un même modèle, étaient greffées horizontalement sur leurs dômes respectifs ; les boîtes de ces valves, d'une capacité de 2 ou 3 litres et d'un modèle dont il existe un grand nombre d'exemplaires, étaient en fonte de 10 mm d'épaisseur ; elles avaient été éprouvées par le constructeur à la pression hydraulique de 20 kg par cm^2.

De chacune de ces boites de prise de vapeur partait un tuyau qui s'élevait verticalement de 75 cm, puis se recourbait presque à angle droit, mais en conservant une légère pente vers le générateur ; enfin ces tuyaux aboutissaient sur le collecteur alimentant les machines. Il

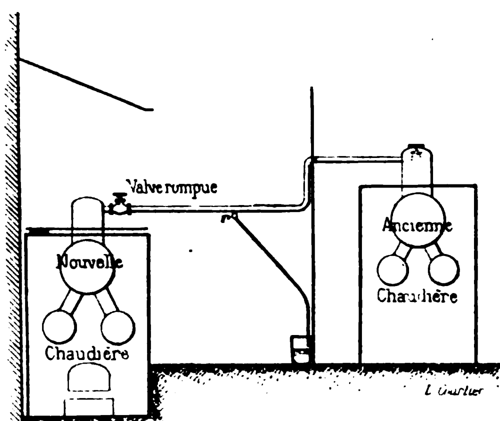
résulte de ces dispositions que, lorsqu'une chaudière était en service, tandis que l'autre était froide et avait par conséquent sa valve fermée, le tuyau correspondant à celle-ci formait un cul-de-sac en contre-bas, où l'eau de condensation ne pouvait faire autrement que de s'accumuler et de se refroidir.

Il paraît que le chauffeur avait pris l'habitude de purger cette eau deux ou trois fois par jour, en ouvrant légèrement la valve jusqu'à ce qu'il vît sortir de la vapeur par un des orifices de la chaudière froide, puis refermant. C'est pendant qu'il procédait à une opération de cette espèce que la boite de la valve se brisa en trois fragments. Par suite d'une circonstance spéciale, trois ouvriers, en outre du chauffeur, se trouvaient présents sur le massif. La vapeur envahissant le local, les quatre hommes s'enfuirent; deux d'entre eux vinrent tomber dans une sorte de fosse, profonde de 3^{m},15, qui se trouvait à l'arrière de la plate-forme, et, dans cette chute, l'un de ces ouvriers fut blessé si grièvement qu'il expira le lendemain.

La boîte rompue, qui n'était en place que depuis quelques jours, n'a montré, dans ses surfaces de rupture, ni soufflure ni autre défaut; le grain de la fonte était fin et régulier, et son épaisseur remarquablement constante.

A Paris, en juillet 1896, l'installation comprenait également deux chaudières, une neuve qui était froide et une ancienne qui fonctionnait (*fig.* 15 et 16). Le timbre de ces deux appareils était 7 kg. La chaudière neuve portait une valve de prise de vapeur dont le clapet mesurait 15 cm de diamètre, et dont la boite, en fonte, d'une forme à peu près sphérique, offrait un diamètre de 30 cm. La tige commandant le clapet avait une vis dont le pas était de 7 mm et se terminait par un volant à main de 35 cm de diamètre.

Les deux chaudières étaient reliées par une conduite de vapeur traversant une cour de 4^{m},25 de largeur et se



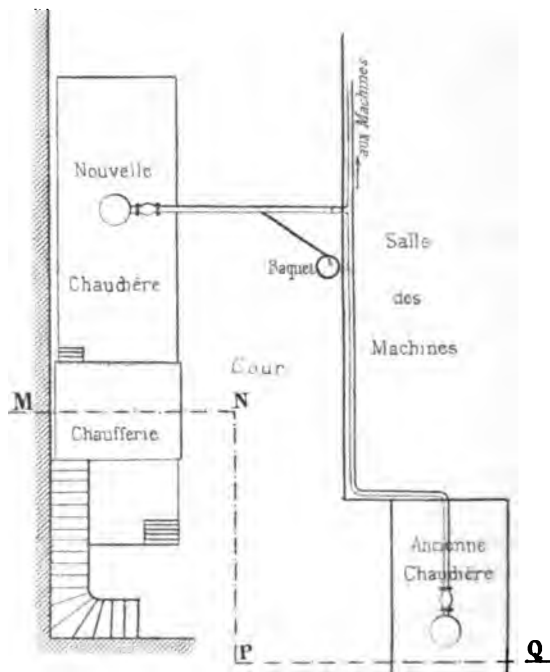


Fig. 15 et 16. — Coupe et plan de l'installation, dans une brasserie, à Paris.

recourbant vers le haut pour racheter une différence de niveau de $1^m,15$ existant entre les prises de vapeur des deux générateurs. C'est sur la partie haute de cette conduite qu'était branché le tuyau allant aux machines. Quand la chaudière nouvelle ne fonctionnait pas, la partie basse constituait une poche en contre-bas, formant cul-de-sac, qui nécessairement s'emplissait d'eau de condensation. Cette conséquence de l'installation n'avait pas échappé, car on avait muni cette partie de conduite d'un robinet purgeur indiqué *fig.* 15, avec tuyau d'évacuation aboutissant à un baquet.

Il est à remarquer que la conduite en question et la boite de valve qui la terminait étaient exposées à des condensations actives et à des refroidissements particulièrement importants, se trouvant placées à peu près complètement en plein air.

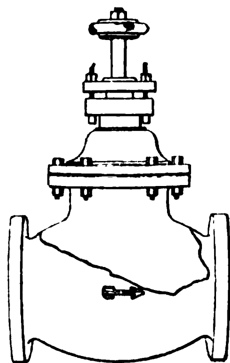


Fig. 17. — Rupture de la valve de la nouvelle chaudière (brasserie, à Paris).

C'était, dit-on, pour vérifier le bon état du fonctionnement de la valve, que le mécanicien et le chauffeur s'étaient portés sur la plate-forme du massif de la chaudière neuve. Ils en avaient pris en mains le volant depuis peu d'instants, lorsqu'il se produisit dans la boite de

valve, au dire d'un témoin, une fente d'où sortit un jet d'eau, puis, au bout d'un temps appréciable, la boîte fit explosion : elle se divisa suivant une ligne irrégulière comme le montrent les *fig.* 17 à 19, autour de la base du piétement de son chapeau boulonné. La partie inférieure, avec le siège du clapet, resta en place ; le fragment supérieur fut projeté avec le chapeau, le clapet et la tige de manœuvre de celui-ci. Plusieurs hommes se trouvaient par malheur présents sur le massif : l'un d'eux a été brûlé mortellement.

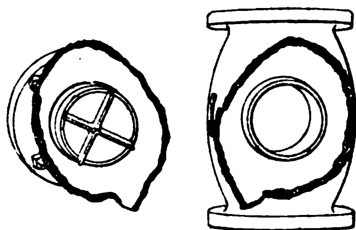


FIG. 18 et 19. — Vues de la valve rompue (brasserie, à Paris).

La pièce de fonte rompue était, comme à Tourcoing, comme à Wervicq, d'une épaisseur assez irrégulière, par suite de décentrage du noyau : elle mesurait de 18 à 19 mm du côté gauche et 12 mm seulement du côté droit, avec passage progressif d'une de ces valeurs à l'autre ; de plus, le métal, soumis à l'analyse chimique, a été trouvé fortement phosphoreux. Mais la surface de rupture montrait, dans toute son étendue, un grain fin, régulier, gris moyen sans trace de soufflure ou de défaut quelconque, et rien n'indiquait une cassure préexistante.

Le mécanicien et le chauffeur ont affirmé que la rupture s'était produite avant qu'ils eussent senti le clapet se décoller de son siège, et il a été reconnu, après l'accident, qu'en juxtaposant les deux parties de l'appareil brisé l'on

obtenait le contact du clapet sur son siège en même temps que celui des deux lèvres de la déchirure. Mais on peut aussi supposer que les deux ouvriers avaient refermé le clapet, après l'avoir ouvert pendant quelques instants, ou même que la constatation faite sur la pièce brisée n'est pas entièrement démonstrative.

Sans doute, en l'état des données qui précèdent, il aurait été téméraire de se montrer affirmatif sur les causes de ces deux accidents. Les dispositions des tuyauteries et l'ensemble des circonstances leur donnent cependant un certain air de famille avec ceux où la production de coups d'eau a été directement constatée, et il ne serait pas impossible que l'on dût donner, à l'un et à l'autre, une explication analogue à celle de l'accident de Wervicq.

VI

Ce ne sont pas seulement les valves de prise de vapeur, placées sur les chaudières, qui peuvent être exposées à des avaries de ce genre ; il en est naturellement de même, quand le tracé des tuyauteries y prête, des valves d'admission de vapeur qui terminent les conduites du côté des machines ou des autres appareils dans lesquels la vapeur est utilisée. Voici deux exemples d'accidents de cette espèce, dont les détails nous ont été obligeamment communiqués par M. l'Ingénieur des Mines Herscher.

La *fig.* 20 représente, en plan, l'installation de la tuyauterie reliant les chaudières à la machine, dans une usine de Tourcoing. Cette tuyauterie présentait, comme le montrent les cotes inscrites sur le dessin, un contre-bas de 3 mètres par rapport au collecteur de vapeur ; un sécheur, ou plus exactement un séparateur d'eau condensée, formé d'un récipient muni à sa base d'un tuyau de purge, avait été interposé à l'origine de la partie basse.

Puis, au bout d'un tuyau EF de $2^m,40$ de développement, se trouvait, à une cote supérieure de $0^m,25$ à celle du point E, une valve, du système Pile, commandant l'admis-

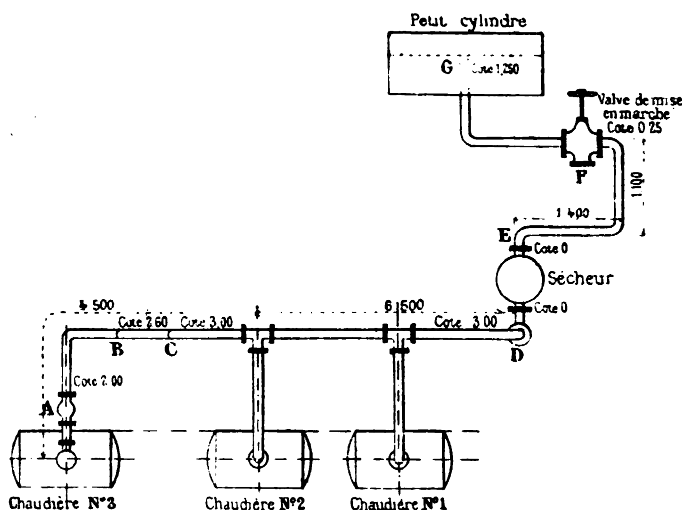
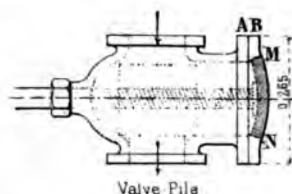


Fig. 20. — Plan coté de l'installation qui a donné lieu à la rupture de la valve d'admission F, à Tourcoing.

sion de vapeur au petit cylindre d'une machine compound. Les chaudières de cette usine fonctionnent à la pression de 12 kg par cm^2.

C'est le fond de la boite en fonte de la valve Pile qui s'est rompu, le 9 août 1898, comme le montrent les *fig.* 21 à 23, au moment d'une mise en marche succédant à un arrêt de deux jours. « Le mécanicien, seul témoin, rapporte M. Herscher, affirme avoir, en arrivant, ouvert pendant cinq minutes le robinet de purge du sécheur, puis il se rendit aux chaudières pour ouvrir les valves. Il venait d'ouvrir la valve du n° 3 quand il entendit dans le sous-sol de la machine, où se trouvait placé le sécheur, quatre ou cinq coups espacés d'environ une seconde et de plus en plus forts, qui ébranlèrent toute la tuyauterie.

Enfin un dernier coup fit rompre le plateau de la valve Pile. »



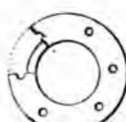




Fig. 21, 22 et 23. — Valve d'admission de vapeur à une machine, rompue à Tourcoing (valve F de la *fig.* 20).

Cette rupture fut inoffensive, parce que le mécanicien se trouvait éloigné. Il n'en a pas été de même, malheu-

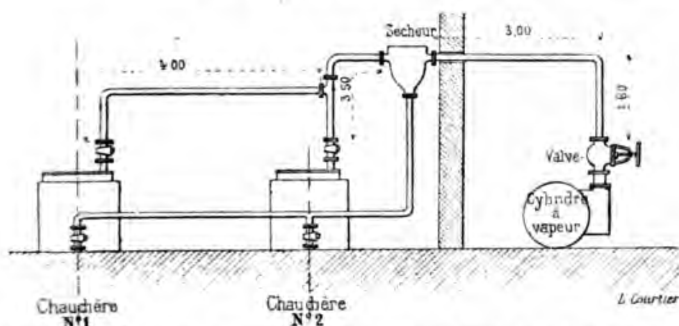


Fig. 24. — Élévation d'une installation qui a donné lieu à la rupture de la valve d'admission à la machine.

reusement, de l'accident suivant. Celui-ci a causé mort d'homme.

L'installation était celle représentée en élévation (*fig.* 24). On voit qu'à partir d'un sécheur, formé d'un récipient

muni à sa base d'un tuyau pour ramener aux chaudières l'eau condensée, la conduite de vapeur se développait horizontalement sur 3 mètres, puis plongeait verticalement de 1m,60 ; c'est au bas de cette partie descendante que se trouvait placée la valve d'admission. Le 29 septembre 1898, à sept heures du matin, le mécanicien commençait à ouvrir cette valve pour réchauffer le cylindre de la ma-

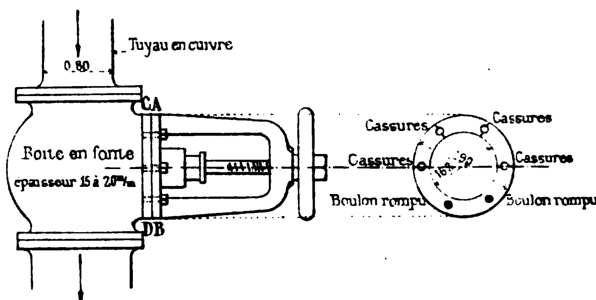


Fig. 25. — Détail de la valve (*fig.* 24) et indication des cassures de la bride CD.

chine, quand le plateau AB (*fig.* 25), qui était fixé par six boulons de 12 millimètres prisonniers dans la bride CD, se sépara violemment de cette bride ; il y eut rupture des deux boulons inférieurs, et les quatre autres s'arrachèrent de la bride CD, à la faveur de cassures transversales qui se produisirent dans cette bride et en éraflant les filets de vis qui les retenaient. Le plateau, avec son arcade, fut projeté à 10 mètres de distance ; atteint à la tête, le mécanicien fut renversé, couvert de brûlures, et l'accident lui coûta la vie.

Il est possible que les ruptures de boites de valves, du genre de celles dont nous venons de donner divers exemples, se fassent plus fréquentes depuis que se répand l'usage des pressions élevées. La fabrication de ces boites,

soit sous le rapport de la ductilité de la matière dont on les constitue, soit sous le rapport des formes, des épaisseurs et de la perfection des soins de fonderie, n'a peut-être pas suivi la progression qu'aurait comportée l'accroissement des pressions sous lesquelles on les fait servir. Il faut remarquer que ces pièces, même abstraction faite des coups d'eau, ne sont pas soumises seulement à la pression de la vapeur : il y a l'action des dilatations et des contractions, souvent brusques; il y a aussi la réaction des efforts que l'on exerce, en serrant la vis de manœuvre, pour appuyer le clapet sur son siège et obtenir une fermeture étanche : efforts qui peuvent être considérables, et qui tendent d'autant plus à l'être que la pression est plus élevée, surtout si, comme c'est le cas le plus fréquent dans la pratique actuelle, le clapet se ferme dans un sens tel que la pression de la vapeur tende à l'ouvrir.

Diverses causes peuvent donc concourir à amorcer des décollements dans la fonte de ces boites, et il semble, en résumé, qu'il y ait à tirer de notre étude, pour l'avenir, un double enseignement, portant d'une part sur les dispositions des tuyauteries, d'autre part sur la constitution des boites des valves.

LA LOI ANGLAISE DE 1896 SUR LES MINES DE HOUILLE

Par M. LEPROUX, Ingénieur des Mines.

I. — Objet de la nouvelle législation.

Il a été rendu compte, dans les *Annales des Mines* (*), par M. l'Inspecteur Général Aguillon, des travaux de la Commission nommée le 9 février 1891 par le Gouvernement Anglais pour faire une étude spéciale des moyens de remédier aux dangers d'explosion causés par les poussières de houille. La traduction des déclarations faites devant la Commission a été donnée par M. Chabaud, en 1892, dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*. Déposé le 13 juin 1894, le rapport de cette Commission concluait à la nécessité d'imposer l'emploi d'explosifs spéciaux, certifiés sûrs par le Ministère de l'Intérieur, et d'exiger que les coups de mines ne soient tirés dans les mines poussiéreuses qu'après un arrosage soigné, ou après l'évacuation des travaux.

La conséquence de ce rapport fut le dépôt, en 1895, d'un projet de loi. Mais la discussion de ce rapport ne put être terminée en temps utile, et il devint caduc. Un nouveau projet fut alors déposé en 1896 ; celui-là put être discuté et fut finalement voté après quelques modifications, le 14 août 1896; nous en donnons ci-après la traduction *in extenso* (voir p. 176).

(*) *Annales des Mines*, 9e série, t. VII.

Il s'agissait, en somme, non pas de faire véritablement une loi spéciale et nouvelle, mais de compléter sur deux points — l'emploi des explosifs et la réglementation des mines poussiéreuses — la loi de 1897 sur la réglementation des mines de charbon. On profita de l'occasion qui s'offrait pour proposer en même temps quelques additions ou modifications à cette loi sur divers autres points, intéressant non seulement la sécurité, mais aussi certains droits des ouvriers. C'est ainsi que furent introduites des dispositions relatives aux plans à tenir, aux lampes de sûreté, à l'adjonction de délégués ouvriers dans les arbitrages regardant les mesures de sécurité, à la visite des travaux avant les postes, et enfin aux amendes ou déductions de salaires infligées aux ouvriers, à raison de wagons de charbon trop menu ou trop sale.

Cette dernière clause souleva, comme on devait s'y attendre, des protestations assez vives. Le 2 juin 1896, c'est-à-dire un peu avant la discussion définitive de la loi, une délégation de l'Association des Houillères de Grande-Bretagne vint présenter au Ministre de l'Intérieur quelques objections au projet. La principale objection visait la dernière clause que nous avons énoncée : les délégués insistaient sur l'inutilité et même les inconvénients d'une réglementation légale de ces questions. Le Ministre s'empressa de répondre que le Gouvernement était décidé à ne pas insister sur cette clause, et à s'attacher avant tout au vote des clauses visant la sécurité.

A l'encontre de ces clauses les délégués firent valoir quelques arguments. La visite de tous les travaux avant le poste était déclarée impossible dans un grand nombre de cas, à cause de l'étendue des mines : on citait un cas où le trajet à faire chaque jour serait de 121 milles. L'adjonction de délégués ouvriers dans les arbitrages aurait dû, disaient les représentants de l'Association, n'être imposée que si une partie notable du personnel

ouvrier le désirait. Enfin ces mêmes représentants demandaient que les mesures tendant à restreindre ou à supprimer, dans telle ou telle mine, l'emploi des explosifs, dussent, comme les autres mesures de sécurité, être soumises à l'arbitrage. Accessoirement l'Association demandait, pour les directeurs de mines, la faveur d'être exemptés des devoirs de juré. Cette dernière demande fut à peine prise au sérieux. Les autres objections furent examinées, mais rejetées, du moins en ce qui concernait la sécurité. Le Gouvernement s'en tint d'ailleurs à la partie du projet qui visait les mesures de sécurité, et il la fit adopter à peu près sans modification.

La loi de 1887 a été traduite et commentée dans les *Annales des Mines* (*). Nous pouvons donc admettre que les lecteurs la connaissent, et les prier de s'y reporter pour l'examen que nous allons faire maintenant des modifications qui y ont été introduites par la loi du 14 août 1896. — Rappelons incidemment que, depuis 1887, une modification avait été apportée au texte primitif par la loi du 25 août 1894, qui avait eu pour unique objet de donner au check-weigher (contrôleur nommé par les ouvriers pour le pesage des berlines) certaines garanties.

Le texte du 14 août 1896 comprend, outre les clauses de forme, six sections distinctes, d'une importance très inégale.

La première augmente notablement les pouvoirs donnés au Ministre de l'Intérieur par les sections 52, 53 et 54 de la loi de 1887. En vertu de ces derniers textes, les règlements particuliers établis en exécution de la section 51 de la loi pouvaient être, d'une manière générale, désapprouvés par le Ministre, qui avait le droit de proposer à ces règlements des suppressions, changements, substitutions ou additions. La section 1 de la loi de 1896 pré-

(*) *Annales des Mines*, 8e série, t. XII. 1887.

cise certains cas où ce droit peut être exercé. Elle spécifie que le Ministre aura le droit de modifier les règlements particuliers, en ce qui concerne les lampes et leur emploi, les explosifs et leur emploi, l'arrosage des voies poussiéreuses, et, en général, les précautions contre les accidents provenant des gaz et des poussières inflammables. On peut être étonné, lorsqu'on compare ce texte au texte de la loi de 1887, que ce dernier ne soit pas considéré comme donnant au Ministre ou aux Inspecteurs des pouvoirs suffisants pour rendre inutiles les nouvelles dispositions. En fait, si l'on réfléchit à la manière très étroite dont la loi est interprétée en Angleterre, on comprend la nécessité d'une pareille précision. On sait en effet que les Inspecteurs ne se considèrent comme dotés par la loi que de pouvoirs très restreints (*); dans cette matière, l'axiome « tout ce qui n'est pas défendu est permis », s'applique largement au profit de l'industriel, mais non au profit de l'Administration.

La section 2 modifie la section 47 de la loi de 1887. Elle donne aux ouvriers le droit de prendre part, par un représentant, et sous la direction des arbitres, aux opérations d'arbitrage organisées par ladite section 47. Il s'agit, nous le rappelons, des arbitrages qui deviennent nécessaires, lorsque le propriétaire d'une mine proteste contre telle ou telle mesure qui lui est imposée dans l'intérêt de la sécurité. Ces arbitrages étaient jusqu'alors destinés à trancher entre deux parties seulement : le Ministre (représenté par l'Inspecteur des Mines) et l'exploitant. Ces deux parties avaient seules le droit de fournir des preuves et des témoins à l'appui de leurs prétentions. La nouvelle disposition introduit une troisième partie, à savoir le délégué des ouvriers, qui peut agir de son côté et fournir aux arbitres ou au tiers arbitre tels

(*) Voir, à ce sujet, le Rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon, Angleterre, p. 28 et suiv.

renseignements que ces derniers jugent utile ou convenable de demander. Fait à noter, cette troisième partie peut être, comme les deux autres, appelée à coopérer aux frais de l'arbitrage.

Les sections 3 et 4 modifient, en les complétant sur certains points de détail, les sections 34 et 38 relatives aux plans à tenir. Comme la section 1, elles paraissent avoir une valeur uniquement interprétative. Il semble en effet que tout ce qu'elles contiennent se trouvait implicitement contenu dans l'ancien texte; on comprendrait difficilement, par exemple, sur le continent, qu'un plan exact ne comprenne pas nécessairement les piliers abandonnés. Mais nous avons déjà dit qu'en Angleterre l'Administration ne se croit pas autorisée à interpréter.

Nous n'en dirons pas autant de la section 5. Celle-ci introduit dans les règles générales de la section 49 de la loi de 1887 trois modifications très nettes et très précises, qui étaient réellement nécessaires. D'une part, alors que l'ancien texte prévoyait seulement l'inspection avant le travail de tous les points où des ouvriers devaient avoir à travailler ou à circuler, le nouveau texte étend l'obligation de l'inspection à tous les chantiers, *même arrêtés*, d'un district d'aérage où les hommes ont à travailler.

Vu l'étendue de certaines mines anglaises, on comprend que cette clause ait soulevé des protestations; mais on comprendra aussi sans peine l'importance capitale qu'elle présente au point de vue de la sécurité. A notre avis, c'était une des clauses les plus nécessaires, et, si elle est consciencieusement appliquée, ce sera sans nul doute l'une des plus efficaces de la nouvelle réglementation.

D'autre part, le paragraphe 2 de la section 5 pose en principe que les lampes de sûreté devront en totalité appartenir à l'exploitant, et qu'il sera interdit d'emporter hors de la mine une partie quelconque de ces lampes. Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance d'une sem-

blable règle, qui, d'ailleurs, était déjà observée dans un grand nombre de mines grisouteuses, mais non dans toutes.

Enfin le troisième paragraphe a pour objet de remplacer un passage de la règle 12, relative au bourrage des coups de mine, par un autre beaucoup plus précis. L'ancien texte se contentait de proscrire l'emploi, pour le bourrage, de la poussière de houille. Le nouveau prescrit l'emploi exclusif d'argile ou autre substance non inflammable, fournie par le propriétaire de la mine. Cette nouvelle prescription a le tort de ne pas exclure les matières quartzeuses ; il est certain, en tous cas, qu'elle constitue un progrès notable.

Ainsi, après quatre sections d'une importance modeste, nous voyons intervenir un cinquième groupe de prescriptions beaucoup plus radicales. Mais tout cela n'est rien à côté de la section 6, qui a provoqué des protestations nombreuses, d'un bout à l'autre du Royaume-Uni. En fait comme en droit, cette section constitue en effet une innovation capitale. Pour la bien comprendre, il faut se rappeler quel est le rôle donné au Ministre et aux Inspecteurs des Mines par la loi de 1887.

En dehors des prescriptions concernant les plans, les prescriptions de sécurité proprement dites, contenues dans la loi de 1887, résultent toutes soit de la section 49 (règles générales), soit des règlements particuliers établis sous l'empire des sections 51 à 56. Nous avons redit plus haut, à propos de la section 1, quel était le rôle du Ministre en ce qui concerne les règlements particuliers. Ce rôle est tempéré par le recours à l'arbitrage. En ce qui concerne les règles générales, si on parcourt ces dernières, on constate que le Ministre ou l'Inspecteur n'ont d'autre pouvoir, à l'égard de telle ou telle mine, que celui de dispenser cette mine de quelques prescriptions. C'est donc un pouvoir en quelque sorte négatif.

La section 6 de la loi de 1896 innove en ce qu'elle

donne au Ministre le droit de prohiber, pour une ou plusieurs mines, l'emploi de tel ou tel explosif, ou de fixer les conditions de son emploi. Et il est spécifié que les contraventions à un règlement ainsi fait par le Ministre seront punies, comme les contraventions aux règles générales, ainsi qu'il est dit à la section 50 de la loi de 1887. Comme on le sait, les prescriptions ainsi imposées se trouvent soustraites à la procédure de l'arbitrage, le Ministre reçoit un pouvoir sans contrôle, et c'est là ce qui a motivé les protestations.

Ces protestations s'accentuèrent lorsque le Ministre se mit en devoir de faire usage de son droit, et publia, en décembre 1896, une première « Ordonnance sur l'emploi des explosifs dans les mines grisouteuses et poussiéreuses ». Cette ordonnance fut trouvée particulièrement sévère et, six mois après, le 4 février 1897, une nouvelle ordonnance fut faite, adoucissant la première sur quelques points ; notamment on abaissait de six mois à trois mois la durée de la période pendant laquelle une constatation de grisou suffit pour rendre obligatoire l'emploi d'explosifs autorisés (Voir plus loin), et on restreignait cette obligation, dans les mines seulement poussiéreuses, aux quartiers secs et poussiéreux.

A cette ordonnance était annexée une liste d'explosifs autorisés, liste contenant dix explosifs déjà bien connus. L'ordonnance devait être mise en application à dater du 1er janvier 1898. La liste d'explosifs autorisés était déclarée provisoire et sujette à revision, à la suite d'expériences entreprises à Woolwich.

Le 4 février 1898, puis le 11 juillet 1898, étaient mises en vigueur de nouvelles ordonnances, chacune abrogeant la précédente, mais n'en étant que la reproduction textuelle, du moins en ce qui concerne la partie réglementaire. Les seuls changements étaient des changements dans la liste des explosifs permis ; cette liste s'augmen-

tait, à chaque nouvelle ordonnance, de quelques explosifs ayant subi avec succès les essais de Woolwich. La liste actuelle, que nous donnons plus loin, à la suite de la traduction de l'ordonnance du 11 juillet 1898, contient 23 explosifs.

Pour apprécier l'ordonnance en elle-même, il faut se rappeler les prescriptions des règles générales de la loi de 1887.

Tout d'abord, pour que, sous le régime de la loi de 1887, une mine fût assujettie à certaines prescriptions dans l'emploi des explosifs, il fallait, d'après les règles 8 et 12 combinées, que du gaz ait été signalé dans la mine — probablement le jour même — ou que la mine fût assujettie à l'emploi des lampes de sûreté, — ce qui suppose que la présence du gaz est probable au point considéré ou au voisinage. Sous le régime nouveau, pour qu'une mine soit considérée comme grisouteuse, il suffit que du gaz ait été trouvé dans le quartier, dans les trois mois qui précèdent. Cette nouvelle définition est certainement plus rigoureuse.

D'autre part, la loi de 1887 permettait l'emploi, dans une mine grisouteuse, de n'importe quel explosif, sauf dans le cas où il était impossible de prouver qu'il n'existait pas, dans le quartier, une accumulation de gaz. Dans ce cas, la loi imposait soit le bourrage à l'eau, soit l'emploi d'un explosif « de nature à ne pas enflammer le gaz ». Une condition analogue, c'est-à-dire tout aussi vague, était imposée dans les quartiers poussiéreux. Enfin la loi ne prohibait le tirage des coups de mine dans les voies de roulage pendant les postes, que s'il était impossible soit d'arroser dans un rayon de 18 mètres, soit d'employer des explosifs bourrés à l'eau ou ne pouvant enflammer le gaz.

En outre, la loi était muette sur les procédés d'allumage des explosifs détonants.

L'ordonnance du 11 juillet 1898 innove radicalement en ce qu'elle *désigne* les explosifs à employer; en ce qu'elle en *impose* l'emploi *exclusif* dans toute couche où du gaz a été trouvé dans les trois mois, ou dans tout quartier sec et poussiéreux, ou dans toute voie appartenant à une mine qui n'est pas humide dans toute son étendue; en ce qu'elle *impose* des conditions de détail dans le mode d'emploi des explosifs autorisés, et notamment dans leur mode d'allumage, qui doit être électrique dans toute mine grisouteuse; enfin en ce qu'elle n'autorise les coups tirés dans les voies principales de roulage d'une *mine de houille quelconque* qu'entre les postes, ou bien sous la condition qu'on emploiera un explosif de sûreté et qu'on arrosera dans un rayon de 20 yards.

On voit que le Ministre a largement profité des pouvoirs nouveaux que la loi mettait à sa disposition. Il n'a eu, en somme, qu'à mettre en pratique les conseils de la Commission de 1891. Toutefois il lui était nécessaire d'être plus amplement éclairé, quant aux explosifs à employer. Les premières ordonnances furent accompagnées d'une liste très courte d'explosifs autorisés, liste établie d'après des essais faits en dehors de l'intervention demandée par la Commission du Ministère de l'Intérieur. Mais, par la suite, les listes successives résultèrent d'essais faits à Woolwich, dans des conditions que nous allons exposer maintenant.

II. — Expériences de Woolwich.

Afin de mettre à exécution les sections 1 et 6 de la loi du 14 août 1896, le Ministre de l'Intérieur nomma, à la date du 1er décembre 1897, un Comité chargé de « rechercher le meilleur mode d'essai pour déterminer la sécurité des explosifs dans les mines de houille, et les moyens que

devrait adopter le Ministère de l'Intérieur pour appliquer ces essais à la fixation des règlements particuliers devant être proposés par le Secrétaire d'État, conformément à la section 1 de la loi de 1896 sur les mines de houille, ou des ordonnances devant être faites par lui, conformément à la section 6 de la même loi ».

Ce Comité comprenait MM. Henry H. S. Cunynghame, Sous-secrétaire adjoint pour l'Intérieur;

Le Colonel sir Vivian Dering Majendie, Inspecteur en chef des Explosifs;

C. Le Neve Foster, l'Inspecteur des Mines bien connu;

H. Hall, également Inspecteur des Mines, qui a joué un rôle important dans les discussions au sujet des poussières;

Le Capitaine J.-H. Thomson, Inspecteur des Explosifs.

Le Comité a d'ailleurs été complété par l'adjonction de M. le Capitaine A.-M.-N. Cooper-Key, le 25 août 1897. C'est ce dernier officier qui fut plus spécialement chargé de l'exécution des essais (*).

Le Comité se réunit de suite, et, le 4 février 1897, il adressait au Secrétaire d'État un premier rapport dans lequel il exposait que, après avoir hésité entre des expériences faites dans une mine et des expériences de laboratoire, il s'arrêtait à une solution intermédiaire, afin de réaliser des expériences à la fois aussi comparables et aussi voisines des conditions de la pratique que possible. Il demandait en conséquence l'autorisation d'édifier sur les terrains de l'arsenal de Woolwich une station d'expériences analogue à celles qui ont été établies en Allemagne, et sollicitait à cet effet un crédit de 1.500 livres (37.500 francs environ).

La réalisation de ce vœu fut immédiate : le 5 juin, le laboratoire était prêt, et les premières expériences étaient

(*) Je tiens à remercier ici M. le Capitaine Cooper-Key, qui a bien voulu m'accompagner lui-même à la station de Woolwich et m'en faire les honneurs.

faites, en présence de délégués de la Fédération des Ingénieurs des Mines.

Voici en quoi consiste le laboratoire.

Comme on va le voir, il est très simple et rappelle beaucoup celui qui a été construit, il y a quelques années par l'Institut des Ingénieurs du Nord de l'Angleterre (*).

L'installation comprend : un canon, une chambre pour le mélange inflammable, et des appareils pour faire le mélange (Voir Pl. IV, *fig.* 1 et 2).

Le canon est en fils d'acier, résistant à 90 tonnes par pouce carré, et contenant à l'intérieur une chemise également en acier, destinée à recevoir l'explosif. Le diamètre intérieur de cette chambre est de 40 millimètres; sa longueur intérieure, 750 millimètres; mais son diamètre au fond s'augmente peu à peu, en raison de l'usure.

Le canon est placé horizontalement et monté sur un chariot qui lui permet de reculer.

Il vient s'appliquer exactement contre les bords de l'orifice de la chambre où l'on met le mélange explosif; on ne fixe pas le canon : l'étanchéité est assurée par un joint en caoutchouc et cuir contre lequel le canon est simplement appliqué.

La chambre du mélange est formée par une ancienne chaudière, composée de six viroles cylindriques et d'une virole tronconique. Le diamètre est $0^m,72$, et la longueur totale $8^m,60$. A l'extrémité opposée au canon se trouve un collier qui permet de fixer une feuille de papier paraffinée.

Aux deux extrémités de la chambre, et à sa base, vient aboutir une canalisation, sur le parcours de laquelle se trouve interposé un ventilateur à force centrifuge mû par une petite machine à gaz. Également sur le parcours

(*) Voir le compte rendu de ces dernières expériences, dans les rapports du *North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers*.

de la canalisation se trouve une cloche gazomètre, d'une capacité de 450 litres, pouvant être à volonté remplie de gaz d'éclairage. Un robinet à trois voies permet d'envoyer dans la chambre de l'air pris à l'extérieur, ou de constituer un circuit fermé comprenant la chambre, les tuyaux et le ventilateur, et, en outre, comprenant ou excluant la cloche à gaz.

En face de l'extrémité de la chambre se trouve une masse de béton destinée à empêcher les projections. Deux tiges de fer scellées dans le béton permettent de présenter devant l'orifice de la chambre deux flacons de fulmicoton.

La chambre est percée de regards, fermés en temps normal par des tampons.

Telle est toute l'installation. On a représenté sur les figures, à gauche, un cylindre vertical au fond duquel se trouve un canon. Cet appareil était destiné à effectuer des essais sur les poussières ; après quelques essais, on a renoncé à ce genre d'expériences, et on s'est borné à faire des essais sur les mélanges gazeux.

Après un certain nombre d'essais préliminaires, on est convenu d'opérer de la manière suivante.

L'explosif, sur la nature et la quantité duquel nous reviendrons, est introduit au fond du canon. Au-dessus de la cartouche, munie d'un détonateur électrique, on place le bourrage. Ce dernier est constitué par du kaolin parfaitement fin, pur et desséché ; le tassement, d'abord modéré, est ensuite progressivement rendu aussi fort que possible ; le bourrage atteint une longueur de 9 pouces (225 millimètres).

La chambre à gaz est remplie d'un mélange à 10 p. 100 environ de gaz d'éclairage, obtenu très facilement grâce à la disposition des appareils ; la cloche contient en effet 450 litres, et la chambre, préalablement balayée par de l'air pur, 4.250 litres ; il suffit de constituer le circuit

fermé comprenant la cloche et la chambre et de faire marcher le ventilateur pendant une ou deux minutes pour que le mélange soit complet. Des analyses faites au début des essais ont montré que la teneur du mélange ainsi réalisé n'était jamais supérieure à 10 1/2 p. 100, ni jamais inférieure à 9 1/2 p. 100. Cette approximation a été considérée comme suffisante.

L'appareil ainsi préparé, on rapproche le canon de la chambre, et, au moyen d'un appareil électrique d'un type usité dans l'armée anglaise, on met le feu.

S'il y a inflammation du mélange, le fulmicoton est brûlé ; sinon, il reste intact.

Dans ces conditions, on tire 20 coups.

S'il n'y a pas une seule inflammation, l'explosif (ou plutôt la cartouche) est accepté.

S'il y a deux inflammations ou plus, l'explosif est rejeté.

S'il y a une inflammation, on tire dix coups de plus ; une nouvelle inflammation fait rejeter l'explosif ; au cas où il n'y a pas inflammation, on tire encore dix coups ; et, s'il y a zéro ou une inflammation, l'explosif est accepté, s'il y en a deux ou plus, il est refusé.

Autrement dit, l'explosif ne doit pas donner plus de 5 inflammations sur 100 coups, l'épreuve étant de 20, 30 ou 40 coups suivant les cas.

Notons, en outre, que la détonation incomplète fait rejeter un explosif au même titre que l'inflammation du mélange.

Il nous reste à dire dans quelles conditions et en quelle quantité l'explosif doit être employé. C'est à ce point de vue que les expériences de Woolwich présentent un caractère tout spécial et particulièrement simple.

C'est, en réalité, non pas l'explosif, mais la cartouche, ou mieux, la charge, qui est éprouvée, c'est-à-dire l'explosif avec son enveloppe, et son détonateur s'il y a lieu.

Faisons remarquer tout d'abord que ni le Secrétaire d'État, ni le Comité ne prennent l'initiative d'un essai. C'est à l'industriel intéressé, — le plus souvent fabricant ou débitant d'explosifs, — qu'incombe ce soin. L'essai n'est pas gratuit : l'industriel doit payer par essai 25 livres (625 francs).

Il n'existe pas, en Angleterre, de monopole des explosifs ; mais, pour pouvoir être fabriqué et vendu, un explosif doit, au préalable (loi de 1875), être examiné et déclaré « licensable » ; c'est une simple mesure de sécurité générale permettant d'interdire la fabrication et le colportage des explosifs trop dangereux, pouvant s'enflammer trop facilement, etc. Il va sans dire dès lors que, pour qu'un explosif puisse être admis à subir les essais de Woolwich, il doit avant tout être sur la liste des explosifs autorisés. Cela étant, lorsqu'un industriel veut faire subir les essais à un explosif, il doit tout d'abord faire déterminer la charge qui sera soumise à l'essai. Cette charge est déterminée au moyen de la méthode de Trauzl, c'est-à-dire en mesurant l'augmentation de volume produite dans un bloc de plomb. Les blocs de plomb employés sont des cylindres de $0^m,30$ de hauteur sur $0^m,30$ de diamètre, percés d'un trou central de 28 millimètres de diamètre sur 186 millimètres de profondeur. La charge est recouverte de sable non bourré et, sur le tout, on place une lourde masse de métal. On est convenu de soumettre aux essais le poids d'explosif équivalent :

1° A 57 grammes de dynamite n° 1 (à 75 p. 100 de nitroglycérine), s'il s'agit d'un explosif détonant ;

2° A 171 grammes de poudre à canon ordinaire, s'il s'agit d'un explosif du même genre, ou, en général, d'un explosif ne nécessitant pas l'emploi d'un détonateur.

Le poids ainsi fixé, l'industriel doit fournir l'explosif sous forme d'une cartouche contenant ce poids, enveloppée et amorcée comme il le juge convenable.

La cartouche est essayée telle quelle, et, si l'épreuve réussit, elle est autorisée. Nous disons, en insistant, *la cartouche :* c'est qu'en effet l'autorisation porte non seulement sur le nom de l'explosif, mais sur l'enveloppe de la cartouche, sur le poids du détonateur employé, parfois sur le poids même de l'explosif, etc. Nous nous sommes contenté de résumer, sous forme de tableau, la liste des explosifs autorisés par l'ordonnance du 18 juillet 1898 ; mais il ne sera pas inutile, pour faire bien comprendre l'esprit de cette ordonnance, de traduire ci-dessous l'énoncé des conditions imposées pour l'un ou l'autre de ces explosifs.

Voici, par exemple, la *National Gelignite*, qui est une sorte de dynamite-gélatine. L'ordonnance s'exprime comme il suit :

« Liste des explosifs autorisés :

. . . .

« *National Gelignite :* se composant, pour 100 parties en poids d'explosif complet, de 64 parties au plus et 56 au moins de nitroglycérine parfaitement purifiée ; avec 6 parties au plus et 4 au moins de coton nitrique soigneusement lavé et purifié, et 32 parties au plus et 24 au moins de nitrate de potasse, et 9 parties au plus et 5 parties au moins de sciure de bois, — et sans ou avec une demi-partie au plus de chaux, — et sans autre substance ; l'ensemble étant uniformément mélangé, et de telle nature et consistance qu'il ne soit pas sujet à exsudation.

« Étant entendu :

« 1° Que l'explosif sera employé seulement contenu dans une douille de papier parcheminé non imperméable ;

« 2° Que l'explosif sera employé seulement avec un détonateur électrique contenant au moins 15 grains ($1^{grain} = 0^{gr},065$) d'une composition comprenant, en poids, 95 parties de fulminate de mercure et 5 parties de chlorate de potasse ;

« 3° Que, en outre de l'inscription sur l'enveloppe extérieure requise par une ordonnance du Secrétaire d'État, faite conformément à la loi de 1875 sur les explosifs, la même enveloppe portera les mots : « comme il est décrit dans la liste des explosifs autorisés », et, en outre, que chaque enveloppe intérieure portera clairement écrits les mots : « Explosif permis, ne devant être employé qu'avec un détonateur spécial », et, en outre, le nom de l'explosif, le nom du fabricant, la date de fabrication, la nature et la proportion des ingrédients ;

« 4° Que l'explosif, s'il est gelé, sera convenablement dégelé dans des conditions sûres et suffisantes avant l'usage. »

Voici maintenant les prescriptions de l'ordonnance en ce qui concerne l'explosif dit *Elephant Brand Gun-Powder*, dont la présence sur une pareille liste n'est pas sans surprendre :

« *Elephant Brand Gun-Powder*, se composant, pour 100 parties en poids d'explosif complet, de 76 parties au plus et 74 au moins de salpêtre pur, avec 15 1/2 au plus et 14 1/2 au moins de charbon de bois, et avec 11 parties au plus et 9 au moins de soufre pur distillé, et sans aucune autre substance, l'ensemble étant uniformément mélangé, et devant être d'une force telle que, si on le fait détoner dans un cylindre de plomb comme ceux qui sont employés à la station d'essais du Ministère de l'Intérieur à Woolwich, il donnera des résultats non inférieurs à ceux que donnerait un poids égal de poudre R. F. G² (*) ; l'explosif devant être en grains pouvant passer à travers un tamis de 11 mailles au pouce linéaire.

« Étant entendu :

« 1° Que la poudre ne sera ni introduite ni employée dans une mine, à moins qu'elle ne soit contenue, avec de

(*) Poudre noire à fusil, anglaise, de 650 grains au gramme.

l'oxalate neutre d'ammoniaque dans la proportion de 1 partie, en poids, d'oxalate, pour 2 parties, en poids, de poudre, dans une douille en papier à l'épreuve des étincelles (cartouche Elephant Brand), dans laquelle sera interposé, entre la poudre et l'oxalate, un diaphragme d'une force et d'une nature telles qu'il empêche tout mélange des deux substances;

« 2° Qu'il ne sera introduit ni employé dans aucune mine une cartouche contenant plus de 255 grammes de cette poudre ; que chaque cartouche sera introduite intacte dans le trou, et que pas plus d'une cartouche à la fois ne sera employée ;

« 3° Qu'aucun coup ne sera tiré avec ladite poudre, s'il n'est complètement bourré avec une quantité de bourrage non inférieure à celle qui serait nécessaire pour une charge de 255 grammes de poudre noire ordinaire;

« 4° Que les cartouches seront emballées dans des enveloppes parfaitement imperméables, dont chacune ne contiendra pas plus de 2^{kg},250 de poudre ;

« 5° Que, en outre... (etc., comme au 3° pour la géliguite)... »

On voit très nettement, par ces exemples, quelle est la portée des expériences de Woolwich. Elle n'est nullement scientifique. Le raisonnement fait par le Comité est, très clairement, le suivant :

Un nombre très grand d'explosifs ont été proposés pour permettre de réaliser, dans les mines grisouteuses ou poussiéreuses, une sécurité plus grande que celle que donnent la dynamite et la poudre noire. Aucun de ces explosifs ne procure une sécurité absolue ; mais, sur la liste de ces explosifs, il n'en est pas deux peut-être qui donnent le même degré de sécurité. Il existe donc un ordre de classement de ces produits, correspondant à leur degré de sécurité. Nous ne nous soucions nullement de déterminer cet ordre; mais nous détermine-

rons, par tâtonnements, un degré de sécurité moyen, et nous placerons là la division en deux parties de la susdite liste. Ce degré de sécurité moyen, nous le fixerons d'après les résultats donnés par des explosifs déjà connus et étudiés, placés dans des conditions qui nous paraîtront raisonnables; et tous les explosifs qui, dans ces mêmes conditions, soumis à des expériences rigoureusement comparables, donneront autant ou plus de sécurité, seront acceptés; les autres seront rejetés.

Il ne faut pas chercher davantage dans les expériences de Woolwich : on ne trouverait rien. Les expérimentateurs n'ont nullement eu la prétention de faire autre chose qu'une comparaison grossière, par des moyens grossiers, mais rigoureusement comparables. A quels résultats sont-ils arrivés? C'est ce que nous allons examiner maintenant.

Nous avons annexé à la présente Note, sous forme de tableau, la liste des explosifs qui ont subi avec succès l'épreuve de Woolwich. Bien que ces explosifs soient pour la plupart connus, nous avons jugé utile de consigner sur la liste leur composition.

Personne ne s'étonnera d'y voir figurer l'ammonite, la bellite, la roburite et la westfalite. Ces explosifs sont connus depuis longtemps, et l'on sait qu'en somme tous les résultats qu'ils ont donnés aux divers essais, ainsi que leur constitution, permettent de les considérer comme procurant une certaine sécurité.

La pembrite, qui n'est autre que la poudre allemande Rottweiler; l'électronite, l'amvis, la poudre Faversham, sont également des poudres pouvant être considérées comme sûres. Mais où les expériences deviennent déconcertantes, c'est lorsqu'on les voit conclure à l'adoption de toute la série des gélignites. Ces explosifs ne sont autres que les gélatines-dynamites, explosifs très puissants, à température de détonation voisine de 3.000°, c

partout on les a considérés comme à peu près aussi dangereux que les dynamites. Enfin la surprise augmente, lorsqu'on voit autoriser la poudre noire, — sous certaines conditions, il est vrai, — et la poudre lente à l'oxalate d'ammoniaque (oxalate blasting powder). Dans ces conditions, on se demande si la limite dont nous parlions plus haut, entre les explosifs sûrs et ceux qui ne le sont pas, n'a pas été placée beaucoup trop près de ces derniers par le Comité anglais.

La comparaison des expériences de Woolwich avec celles qui ont été faites récemment sur le même plan, dans les divers pays d'Europe, permet de répondre affirmativement, sans hésiter. Le point par lequel les expériences de Woolwich en diffèrent essentiellement est le bourrage. Ni à Consolidation, ni à Hebburn (expériences entreprises par l'Association des Ingénieurs du Nord de l'Angleterre), pour ne parler que des plus récentes expériences, il n'a été fait usage d'un bourrage comparable à celui de Woolwich. Ainsi les récentes expériences de Consolidation ont porté sur des poids de 200 à 300 grammes d'explosif; le trou de mine avait les mêmes dimensions qu'à Woolwich; le bourrage ne dépasse 200 millimètres que dans quelques rares expériences. A Hebburn, le trou avait un diamètre très petit (30 millimètres); les charges étaient de 28 à 105 grammes; nombre d'expériences ont été faites avec des bourrages de 25 et de 75 millimètres, quelquefois 150. Mais ce n'est que très exceptionnellement que, dans des expériences de ce genre, on a eu recours à un bourrage aussi important que celui de Woolwich (225 millimètres, soit plus de 5 1/2 calibres, contre 1 1/2 et 5 à Hebburn, 3 1/2 et 5 à Consolidation). Ce bourrage, nous avons pu le vérifier, est fait avec des matières de première qualité et est particulièrement soigné. Nous sommes convaincu que c'est à cela qu'il faut attribuer les résultats des essais de

Woolwich, et nous ne serions pas surpris que, par la suite, les fabricants d'explosifs, se sachant en présence d'un problème parfaitement défini n'arrivent à le résoudre au moyen d'explosifs offrant, dans la pratique, une sécurité moindre encore que celle des explosifs déjà autorisés.

III. — Application de la nouvelle réglementation.

Nous avons attaché, dans ce qui précède, une importance particulière à la nouvelle réglementation des explosifs. C'est que, en effet, c'est le seul point important de la loi de 1896 ; c'est le seul, du moins, dont l'application a été difficile.

Nous n'avons pas entendu dire, au cours de notre récent voyage en Angleterre, que l'Administration ait profité de la promulgation de la nouvelle loi pour user beaucoup plus largement que par le passé de son droit de modifier les règlements particuliers.

En ce qui concerne les arbitrages, aucune protestation bien sérieuse n'a été rencontrée; au reste, l'arbitrage se pratique très peu, et la nouvelle clause pourrait bien n'être qu'une satisfaction assez platonique donnée aux ouvriers.

Quant aux plans, les mesures imposées par la loi semblent bien anodines; elles sont cependant d'une exécution quelquefois difficile, et cela tient à la pénurie de bons géomètres dont souffrent les houillères anglaises. Cette pénurie nous a paru être la préoccupation de toutes les personnes que l'industrie des mines intéresse. Personne ne conteste l'utilité d'avoir des plans exacts. Mais, comme la configuration des gîtes anglais est telle que le besoin de cette exactitude se fait rarement sentir (on n'a pour ainsi dire jamais à faire de percements au rocher, sur une longueur appréciable), on comprend qu'il ne se soit pas formé de personnel capable d'opérer avec la minu-

tie que nécessiterait, pour avoir des plans parfaitement exacts, l'immense étendue des champs d'exploitation et l'étroitesse de la base formée par les centres des deux puits généralement très voisins qui sont placés à leur centre.

L'opinion publique s'est, au contraire, vivement émue lors de l'application des premières ordonnances concernant les explosifs de sûreté. Non que l'usage de ces produits fût inconnu ; la loi de 1887 l'imposait en fait, dans certains cas ; et nombre de mines avaient déjà adopté les explosifs de sûreté, pour la plupart de provenance allemande, sinon quant à la fabrication, du moins quant au brevet.

La carbonite, notamment, était, d'après les renseignements que nous avons pu recueillir, l'un des explosifs de sûreté les plus employés, à cause de son mode de détonation, qui se rapprocherait un peu de celui de la poudre noire. Mais les mines qui étaient entrées dans cette voie y étaient entrées presque de leur plein gré, c'est-à-dire que c'étaient celles où les bénéfices permettaient de pareils essais. La poudre noire coûte, en Angleterre, de 0 fr. 40 à 0 fr. 45 la livre, soit environ 1 franc le kilogramme. Les explosifs de sûreté, tels que l'ammonite, la roburite, la westfalite, coûtent environ 1 franc la livre, soit 2 fr. 20 le kilogramme, les gélignites coûtent 2 francs le kilogramme ; la dépense est donc doublée, et la nécessité d'employer des détonateurs l'augmente encore. En réalité, l'augmentation qui résulte, pour le prix de revient, de la substitution des explosifs de sûreté à la poudre noire est peu élevée, si l'on veut bien y réfléchir ; elle peut atteindre cependant quelques centimes par tonne, dans certaines mines à charbons durs ; de plus, la qualité des produits abattus est moins bonne ; c'est là un argument qui a beaucoup de pouvoir sur l'opinion en Angleterre, et les propriétaires

des mines peu fortunées n'ont pas manqué de le faire valoir. De plus, on a, en général, critiqué amèrement la généralité des mesures imposées, et l'impossibilité pour les mines menées avec soin de s'y soustraire. On a enfin fait valoir les accidents qui n'ont pas manqué de se produire, et qui sont dus à l'impéritie des ouvriers, peu habitués à manier les explosifs détonants et surtout les détonateurs. On remarquera, en particulier, en ce qui concerne ce dernier point, que l'ordonnance exige seulement des détonateurs équivalents à ceux qui ont été employés à l'essai; or le détonateur est l'élément coûteux, lorsqu'il est au fulminate, et il ne manque pas de substances (picrate de potasse, chlorate de potasse, etc.), qui permettent de fabriquer à bon compte et de vendre à bas prix des détonateurs d'une *puissance* égale à celle des détonateurs au fulminate, mais d'une efficacité et, par suite, d'une sécurité moindres.

A ces critiques, le Ministère de l'Intérieur ne doit pas être embarrassé pour répondre. Il n'y a qu'à présenter la liste des explosifs autorisés depuis le 11 juillet de cette année, et les adversaires les plus acharnés de la nouvelle réglementation cesseront probablement de faire entendre des plaintes aussi vives (*), car il serait difficile de leur accorder une satisfaction aussi inespérée. Après les expériences faites dans tous les pays d'Europe, on aurait pu croire que la poudre noire et la dynamite employées au charbon et sans bourrage spécial seraient à jamais proscrites des mines grisouteuses ou poussiéreuses. L'Administration anglaise rouvre la porte que l'on croyait à jamais fermée. Son œuvre prête par là à de sérieuses

(*) A la nouvelle que les expériences de Woolwich avaient conduit à faire autoriser la poudre noire, les organes attitrés des exploitants, le *Colliery Guardian* notamment, poussèrent un cri de triomphe, et, comme on trouvait que l'ordonnance ne paraissait pas assez vite, on questionna le Gouvernement à ce sujet.

critiques, et nous avons entendu, en Angleterre même, plus d'un ingénieur juger avec sévérité les travaux qui ont conduit à de pareils résultats. Imposer d'une part, dans un nombre de cas qui paraît à première vue très considérable, l'usage des explosifs de sûreté, puis déclarer explosifs de sûreté des produits que le suffrage presque unanime de l'Europe continentale a déclarés dangereux, telle est l'œuvre que vient d'accomplir l'Administration anglaise. Et lorsqu'on songe qu'à côté de cette réglementation si minutieuse et qu'on peut craindre de voir devenir si illusoire, le dosage de teneurs en grisou inférieures à 2 p. 100 dans les courants d'air est encore à peu près partout considéré comme une opération sans intérêt, on demeure assez inquiet sur le degré de sécurité atteint jusqu'à présent dans les houillères anglaises.

ANNEXES.

Loi du 14 août 1896 pour amender la loi de 1887 sur la réglementation des mines de houille.

I. — 1° Le pouvoir de proposer, d'amender et de modifier les règlements particuliers de chaque mine, prévu par la loi sur la réglementation des mines de houille de 1887, s'étendra à chacune des matières suivantes, savoir :

a. La nature et le modèle des lumières ou lampes pouvant être employées dans la mine, leur conservation en bon état, la manière de les employer et de les entretenir ;

b. La composition des explosifs pouvant être employés dans la mine, leur mode d'emploi et d'emmagasinage, la manière de préparer et de bourrer les coups de mine, le moment où les coups pourront être tirés dans la mine, la manière de les tirer ;

c. Le nombre ou la nature des personnes qui pourront, s'il y a lieu, être autorisées à rester dans la mine ou dans les travaux y attenant pendant qu'on tirera les coups de mine ;

d. L'arrosage de la mine ou de certaines voies, ou de certains

quartiers, ou les procédés pour rendre cette mine, ces voies ou ces quartiers suffisamment humides ;

e. Et généralement les précautions à adopter pour éviter les accidents dus aux gaz inflammables et à la poussière de charbon.

2° Tant que des règlements particuliers faits en exécution de cette section seront en vigueur dans une mine, les règles générales contenues dans la section 49 de la loi de 1887 et tous règlements particuliers établis en exécution de cette dernière loi seront suspendus en ce qui concerne ladite mine, pour autant qu'ils seront en contradiction avec les règlements particuliers faits en exécution de cette section.

II. — Là où une question, qui fait l'objet d'un différend, est soumise à l'arbitrage, conformément à la loi de 1887, la majorité des ouvriers employés à la mine à laquelle se rapporte l'arbitrage peut, en fournissant telle garantie qui peut paraître, aux arbitres ou au tiers arbitre, suffisante pour assurer le paiement des frais occasionnés par ce qui va suivre, déléguer une personne pour représenter les ouvriers ou une catégorie de ces derniers, lors de l'arbitrage, et la personne ainsi désignée sera autorisée à assister et à prendre part aux opérations de l'arbitrage dans la mesure et de la manière que les arbitres ou le tiers arbitre le jugeront opportun ; elle sera soumise, en ce qui concerne les frais occasionnés, à la même responsabilité que si elle était partie dans l'arbitrage.

III. — Le plan qui doit être tenu conformément à la section 34 de la loi de 1887 devra représenter la position des travaux qui y sont figurés par rapport à la surface, et la position, l'étendue et la direction de toute faille ou dislocation connue de la couche avec son inclinaison.

IV. — 1° Aux paragraphes (1) et (2) de la section 38 de la loi de 1887 seront substitués les paragraphes suivants :

« 1° Là où une mine ou une couche est abandonnée, la personne qui est propriétaire de la mine ou de la couche au moment de l'abandon enverra à un Secrétaire d'État, dans les trois mois qui suivront l'abandon :

« *α.* Un plan exact de la mine ou de la couche, lequel plan sera soit le plan original des travaux, soit une copie exacte de ce dernier, faite par un dessinateur exercé et représentant :

« *a.* Les limites des travaux de la mine ou de la couche, comprenant non seulement les chantiers, mais aussi toutes les galeries poussées au delà, au moment de l'abandon ;

« *b.* Les piliers de houille ou autre minéral restant inexploités ;

« *c*. La position, la direction et l'étendue de toute faille ou « dislocation connue de la couche avec son inclinaison;

« *d*. La position des travaux par rapport aux limites des pro- « priétés de la surface;

« *e*. La direction générale et le degré d'inclinaison des « couches;

« *f*. L'indication de la profondeur des puits depuis la surface « jusqu'à la couche abandonnée;

« β. Une section des couches traversées, ou, si cela n'est pas « raisonnablement possible, l'indication de la profondeur du « puits avec une section de la couche.

Chacun de ces plans devra être à une échelle non inférieure à celle de la carte officielle, soit 25 pouces au mille, ou à la même échelle que le plan employé à la mine à l'époque de son abandon, et son exactitude devra être certifiée, pour autant qu'il sera raisonnablement possible, par un géomètre ou toute autre personne désignée, en cette qualité, par un Inspecteur des Mines.

« 2° Le plan et la coupe seront conservés par les soins du Secrétaire d'État; mais personne, excepté un Inspecteur des Mines, ne sera autorisé sans le consentement du propriétaire de la mine ou de la couche, ou la permission d'un Secrétaire d'État, à examiner le plan ainsi envoyé avant qu'il se soit écoulé dix ans depuis l'abandon. Étant entendu qu'une telle permission ne sera donnée que si le Secrétaire d'État est convaincu que l'examen dudit plan est nécessaire dans l'intérêt de la sécurité.

3° La Haute Cour, ou, en Écosse, la « Court of Session », peut, sur l'invitation ou avec l'autorisation du Secrétaire d'État, faire une ordonnance requérant toute personne qui a actuellement sous sa garde ou en sa possession un plan ou une coupe d'une mine ou couche abandonnée, de communiquer ledit plan au Secrétaire d'État pour permettre de l'examiner ou d'en prendre copie.

V. — 1° La visite avant le commencement du travail exigée par la règle 41, contenue dans l'article 49 de la loi de 1887, s'étendra à tous les chantiers dans lesquels le travail est temporairement suspendu, s'ils appartiennent au quartier d'aérage dans lequel les ouvriers ont à travailler;

2° Une lampe de sûreté ne doit pas être employée dans une mine ou quartier par une personne qui y travaille, si elle n'est pas fournie par le propriétaire de la mine, et aucune partie d'une lampe de sûreté ne doit être emportée hors de la mine par qui que ce soit, tant que la lampe est en service;

3° Dans la 12e règle générale contenue dans la section 49 de la loi de 1887, aux mots : « La houille et la poussière de charbon ne pourront être employées pour le bourrage », seront substitués les mots : « L'argile ou une autre substance ininflammable seront seules employées pour le bourrage et seront fournies par le propriétaire de la mine. »

VI. — Un Secrétaire d'État, s'il est convaincu qu'un explosif est, ou est susceptible de devenir dangereux, peut, par une ordonnance dont il sera donné avis, ainsi qu'il le jugera opportun, prohiber l'usage dudit explosif dans une mine ou dans une catégorie de mines, soit d'une manière absolue, soit sous conditions, et les prescriptions de la loi de 1887, en ce qui concerne les contraventions aux règles générales, s'appliqueront aux contraventions aux susdites prohibitions.

VII. — La présente loi pourra être désignée sous le titre suivant : Loi de 1896 sur les mines de houille ; la loi principale, la loi sur les mines de houille (check-weighers), 1894, et la présente loi pourront être désignées collectivement ainsi qu'il suit : lois sur la réglementation des mines de houille, 1887 à 1896.

Ordonnance faite par le Secrétaire d'État pour l'Intérieur en exécution de la section 6 de la loi de 1896 sur la réglementation des mines de houille.

Considérant que, par la section 6 de la loi de 1896 sur la réglementation des mines de houille, il est prescrit qu'un Secrétaire d'État, s'il est convaincu qu'un explosif est, ou est susceptible de devenir dangereux, peut, par une ordonnance, prohiber l'usage dudit explosif dans une mine ou une catégorie de mines, soit d'une manière absolue, soit sous conditions :

J'émets, en vertu du pouvoir qui m'est conféré par l'article susvisé, l'ordonnance suivante :

I. — 1° Dans toutes les mines de houille où du gaz inflammable a été trouvé dans les trois mois précédents en quantité suffisante pour indiquer un danger, l'emploi d'un explosif autre que les explosifs autorisés, ainsi qu'ils seront définis ci-dessous, est prohibé d'une manière absolue dans la couche ou dans les couches dans lesquelles le gaz a été trouvé ;

2° Dans toutes les mines de houille dont les travaux ne sont

pas naturellement humides dans toute leur étendue, l'emploi d'un explosif, autre que les explosifs autorisés, ainsi qu'ils seront définis ci-dessous, est prohibé d'une manière absolue dans toutes les voies et dans toutes parties sèches et poussiéreuses de la mine.

II. — Dans toutes les mines ou parties de mine de houille désignées ci-dessus, l'emploi des explosifs autorisés est prohibé, à moins que les mesures suivantes ne soient prises;

a. Chaque charge d'explosif sera placée dans un trou foré convenablement à cet effet et aura un bourrage suffisant.

b. Chaque charge sera allumée au moyen d'un appareil électrique efficace, ou par tout autre moyen assurant une sécurité équivalente contre l'allumage des gaz inflammables ou de la poussière de charbon;

c. Chaque charge sera allumée par une personne exercée désignée par écrit à cet effet par le propriétaire, l'agent ou le directeur de la mine; cette personne ne devra pas être de celles dont le salaire dépend de la quantité de minérai produite;

d. Chaque explosif sera employé de la manière, et sous les conditions prescrites dans la liste ci-annexée;

Étant entendu que rien dans la présente ordonnance ne défend l'emploi des mèches de sûreté dans les mines, où du gaz inflammable n'a pas été trouvé dans les trois mois précédents, en quantité suffisante pour indiquer un danger.

III. — Dans toute mine de houille, l'emploi de tout explosif est prohibé dans les voies principales de roulage et dans les galeries d'entrée d'air, à moins que tous les ouvriers n'aient évacué la couche dans laquelle le coup doit être tiré, ainsi que toutes les couches communiquant avec le puits à la même cote, étant exceptés les hommes employés à tirer les coups, et, en outre, les personnes, au nombre de dix au plus, qui sont employées à conduire les foyers d'aérage, les chaudières, les machines, les mécanismes, les treuils, les signaux, ou à prendre soin des chevaux, ou à visiter la mine, ou à moins qu'un explosif autorisé ne soit employé et que toutes les parties du toit, de la sole et des parois de la voie principale de roulage ou de la galerie d'entrée d'air, dans un rayon de 20 yards autour du point où l'explosif est employé, ne soient, au moment du tirage, uniformément humides, soit naturellement, soit par arrosage.

Cet article ne s'appliquera pas aux parties des voies principales de roulage et des entrées d'air qui sont à moins de 100 yards des chantiers.

Cet article n'autorisera pas l'emploi d'un explosif, dans le cas

où l'usage de cet explosif serait prohibé par les articles 1 et 2 de la présente ordonnance.

IV. — La présente ordonnance ne s'appliquera pas aux mines d'argile ou de minerai de fer stratifié ou en nodules; il ne s'appliquera pas aux puits en cours de fonçage ou d'approfondissement aboutissant à la surface, ni aux galeries inclinées ou autres communications partant de la surface, à moins que ces puits, galeries ou communications, ne soient aérés par un retour d'air.

Là où une mine contient plusieurs couches distinctes, la présente ordonnance s'appliquera à chaque couche comme si elle constituait une mine distincte.

V. — Dans la présente ordonnance, l'expression « explosifs autorisés » signifie : les explosifs qui sont nommés et définis dans la liste ci-annexée, étant entendu que, lorsque la composition, la qualité ou la nature d'un explosif est définie dans ladite liste, tout produit présenté comme étant cet explosif, mais qui en diffère par la composition, la qualité ou la nature, soit pour cause de détérioration ou autrement, ne sera pas considéré comme étant l'explosif ainsi défini, étant entendu, d'autre part, qu'un propriétaire, agent ou directeur, ne sera pas responsable de la composition, de la qualité ou de la nature d'un explosif, s'il prouve qu'il a, de bonne foi, obtenu un certificat écrit émanant du fabricant de l'explosif et déclarant que ce dernier satisfait aux spécifications de la liste ci-annexée, et qu'il a employé tous les moyens raisonnables pour empêcher la détérioration de l'explosif emmagasiné.

L'expression « voie » comprend toutes les voies de toute nature s'étendant depuis le puits ou la communication avec l'extérieur jusqu'à 10 mètres des chantiers.

L'expression « voie principale de roulage » signifie : une voie qui a été ou qui est actuellement employée pour le transport des wagons par la gravité ou par la vapeur.

VI. — La présente ordonnance entrera en vigueur le 18 juillet 1898; à cette date, l'ordonnance sur les explosifs dans les mines de houille du 4 février 1898 est rapportée.

VII. — La présente ordonnance peut être désignée ainsi qu'il suit: Ordonnance sur les explosifs dans les mines de houille du 11 juillet 1898.

LISTE ANNEXÉE

A L'ORDONNANCE DU 11 JUILLET 1898

COMPRENANT LES EXPLOSIFS AUTORISÉS A CETTE DATE.

NOM DE L'EXPLOSIF	COMPOSITION	ENCARTOUCHAGE	AMORÇAGE	OBSERVATIONS
Ammonite............	Nitrate d'ammoniaque.... 87 à 89 Binitronaphtaline........ 11 à 13	Contenu dans une douille en alliage de plomb et étain imperméabilisé parfaitement au moyen de paraffine.	Détonateur équivalent au détonateur N° 6 1/2 (19 grains d'un mélange de 80 p. 100 de fulminate de mercure et de 20 p. 100 de chlorate de potasse).	
Amvis................	Nitrate d'ammoniaque.... 89 à 92 Sciure de bois.......... 4 à 6 Binitrobenzol avec addition de chlorure de naphtaline (pas plus de 1 p. 100 de chlore).... 4 à 6	Douille en papier fort imperméabilisé avec de la kérosine.	Détonateur contenant au moins 15 grains d'un mélange de 95 p. 100 de fulminate de mercure et de 5 p. 100 de chlorate de potasse.	
Bellite N° 1..........	Nitrate d'ammoniaque.... 82 à 85 Binitrobenzol.......... 15 à 18	Douille en papier toile imperméabilisé avec un mélange de paraffine et de cire de Carnauba.	Détonateur équivalent au détonateur N° 7 : 23 grains d'un mélange de 80 p. 100 de fulminate de mercure et de 20 p. 100 de chlorate de potasse.	
Bellite N° 3..........	Nitrate d'ammoniaque.... 92 à 95 Binitrobenzol.......... 5 à 8	Id.	Détonateur équivalent au détonateur N° 6 (15 grains d'un mélange de 80 p. 100 de fulminate de mercure et de 20 p. 100 de chlorate de potasse).	
British Gelignite......	Nitroglycérine.......... 58 à 62 Coton-poudre............ 3 à 5 Nitrate de potasse....... 26 à 31 Sciure de bois.......... 6 à [illegible]	Enveloppe de papier parcheminé non imperméable.	Détonateur équivalent au N° 6 (Voir plus haut).	

[illegible]	Coton-poudre } Nitroglycérine }	[illegible] à 40			
	Nitrate de potasse......	58 à [illegible]			
	Sciure de bois } Charbon de bois }	0 à 12			
	Carbonate de magnésium (pas plus de 3 p. 100 de charbon de bois)......	0 à 2			
Carbonite..............	Nitroglycérine...........	25 à 27	Id.	Id.	
	Nitrate de baryte } Nitrate de potasse }	30 à 36			
	Sciure de bois..........	40 à 43			
	Benzol sulfuré..........	0 à 1/2			
	Carbonate de soude ou de chaux...............	0 à 1/2			
Dahmenite A	Nitrate d'ammoniaque.....	91 à 93,5	Enveloppe en papier imperméabilisé avec de la paraffine et de la résine.	Détonateur équivalent au N° 7 (Voir plus haut).	
	Naphtaline..............	5 à 6,5			
	Bichromate de potasse...	1 à 2,5			
Electronite N° 2.......	Nitrate d'ammoniaque	94 à 96	Douille métallique (plomb et étain) ou enveloppe en papier imperméabilisé avec de la kérosine.	Détonateur équivalent au N° 6 (Voir plus haut).	
	Sciure de bois } Amidon }	4 à 6			
Poudre noire « Elephant Brand ».............	Salpêtre pur............	74 à 76	Douille en papier noir ininflammable contenant en outre pour 2 parties de poudre, 1 partie d'oxalate d'ammoniaque séparé de la poudre.	»	Ne pas employer plus de 255 gr. de poudre et avec un bourrage suffisant pour 255 gr. de poudre noire ordinaire.
	Charbon de bois.........	14,5 à 15,5			
	Soufre pur distillé.......	9 à 11			
Faversham Powder....	Nitrate d'ammoniaque....	83 à 87	Douille en papier imperméabilisé avec de la paraffine, avec ou sans culot de plomb.	Détonateur équivalent au N° 6 1/2 (Voir plus haut).	
	Binitrobenzol............	9 à 14			
	Chlorhydrate d'ammon....	1 à 2			
	Chlorure de sodium......	2 à 3			
Kynite.................	Nitroglycérine..........	25 à 27	Enveloppe en papier végétal non imperméable.	Détonateur équivalent au N° 6 (Voir plus haut).	
	Nitrate de baryte........	30 à 36			
	Sciure de bois..........	40 à 43			
	Carbonate de soude......	0 à 1/2			
Kynoch Gelignite......	Nitroglycérine..........	54 à 63	Enveloppe en papier parchemin non imperméable.	Id.	
	Coton-poudre............	3 à 5			
	Nitrate de potasse.......	26 à 34			
	Sciure de bois..........	6 à 9			
	Chaux..................	0 à 1			

LISTE DES EXPLOSIFS AUTORISÉS (*Suite*).

NOM DE L'EXPLOSIF	COMPOSITION		ENCARTOUCHAGE	AMORÇAGE	OBSERVATIONS
Nahnsen's Gelignite....	Nitroglycérine...........	54 à 63	Enveloppe en papier parchemin non imperméable.	Détonateur équivalent au N° 6 (Voir plus haut).	
	Coton-poudre............	3 à 5			
	Nitrate de potasse.......	26 à 34			
	Sciure de bois..........	6 à 10			
	Chaux.	0 à 1/2			
National Gelignite.....	Nitroglycérine...........	56 à 64	Id.	Détonateur contenant 15 grains d'un mélange de 95 p. 100 de fulminate de mercure et de 5 p. 100 de chlorate de potasse.	
	Coton-poudre............	4 à 6			
	Nitrate de potasse.......	24 à 32			
	Sciure de bois..........	5 à 9			
	Chaux.................	0 à 1/2			
Nobel Ardeer Powder..	Nitroglycérine.	31 4 34	Enveloppe en papier parchemin non imperméable.	Détonateur équivalent au N° 3 (8 grains).	
	Kieselguhr	11 à 14			
	Sulfate de magnésie.....	47 à 51			
	Nitrate de potasse.......	4 à 6			
	Carbonate d'ammoniaque.	0 à 1/2			
	Carbonate de chaux	0 à 1/2			
Nobel Carbonite........	Nitroglycérine	25 à 27	Id.	Détonateur équivalent au N° 6 (V. plus haut).	
	Nitrate de potasse / Nitrate de baryte	30 à 36			
	Sciure de bois	40 à 43			
	Benzol sulfuré..........	0 à 1/2			
	Carbonate de soude ou de chaux...............	0 à 1/2			
Nobel Gelignite........	Nitroglycérine	54 à 63	Id.	Id.	
	Coton-poudre	3 à 5			
	Nitrate de potasse.......	26 à 34			
	Sciure de bois..........	6 à 9			
	Chaux	0 à 1/2			
Oxalate Blasting Powder.................	Nitrate de potasse	69 à 73	Enveloppe non imperméable de plomb et d'étain.	Id.	
	Charbon de bois.........	12 à 15,5			
	Oxalate d'ammoniaque ..	13,5 à 16,5			

[illegible]	Huile spéciale végétale... Soufre.................. Nitrate de baryte........	3 à 6 1 à 2 0 à 1	en papier métallisé.	N° 8 (80,0 grains).	
Rhenish Gelignite......	Nitroglycérine .... Coton-poudre .... Nitrate de potasse....... Sciure de bois..........	57 à 59 2 à 3 28 à 31 9 à 10,5	Enveloppe non imperméable en papier parchemin.	Détonateur équivalent au N° 6 (V. plus haut).	
Roburite N° 3.........	Nitrate d'ammoniaque .... Dinitrobenzol........... Chloronaphtaline........ (pas plus de 1 p. 100 de chlore).	86 à 89 9 à 13 0 à 13	Douille en papier imperméabilisé avec de la kérosine.	Détonateur contenant 15 grains d'un mélange de 95 p. 100 de fulminate de mercure et 5 p. 100 de chlorate de potasse.	
Sun Gelignite..........	Nitroglycérine .... Coton-poudre .... Nitrate de potasse ...... Sciure de bois..........	57 à 59 2 à 3 25 à 31 8 à 10	Enveloppe non imperméable en papier parchemin.	Détonateur équivalent au N° 6 (Voir plus haut).	
Westfalite N° 1.......	Nitrate neutre d'ammoniaque.................. Résine de pin ne fondant pas au-dessous de 95° centigrades...........	94 à 96 4 à 6	Id.	Détonateur équivalent au N° 8 (Voir plus haut).	
Westfalite N° 2........	Nitrate neutre d'ammoniaque.................. Nitrate de potasse....... Résine pure de pin infusible à 95° centigrades.	90 à 92 3 à 5 4 à 6	Id.	Id.	

RAPPORT SUR LES TRAVAUX
DU SERVICE GÉOLOGIQUE DE L'ALGÉRIE
POUR L'ANNÉE 1897

Par MM. A. POMEL et J. POUYANNE, Directeurs du Service.

(EXTRAIT.)

§ 1er. — ÉTUDES.

M. Pomel, dans le cours de l'année 1897, a continué la description des vertébrés fossiles quaternaires de l'Algérie ; il a fait paraître un certain nombre de monographies, faisant suite à celles qui ont été publiées dans les années précédentes. L'indication de ces publications sera donnée au paragraphe suivant.

Les géologues qui ont concouru aux études sur le terrain, dans le courant de 1897, sont : MM. Ficheur, Blayac, Brives, Flamand, Gentil, Ritter, collaborateurs ; M. Lantenois, Ingénieur des Mines à Constantine.

A. — Travaux des géologues.

Les études se sont poursuivies suivant le programme proposé ; d'abord par la continuation des levés géologiques dans les différentes régions commencées sur les feuilles au 50.000e pour le Tell, et au 200.000e pour le Sud, puis par des études spéciales sur diverses localités, destinées à la solution des questions indécises relatives à

la stratigraphie générale, enfin pour la rectification des tracés en vue de la troisième édition de la Carte géologique générale.

M. Ficheur, collaborateur principal, s'est attaché à rechercher la solution des problèmes stratigraphiques soulevés ou mis en discussion par quelques-uns des géologues éminents qui ont pris part à la réunion de la Société géologique en 1896, notamment dans la région de Constantine. Le résultat de ses observations est exposé dans le résumé suivant :

I. **Région de Constantine.** — La présence du Trias sur le flanc Est du Chettaba a été reconnue par M. Marcel Bertrand, à la suite de la réunion de 1896, sur le facies lithologique et d'après la présence de fossiles caractéristiques, *Myophoria communis*, *Gervillia socialis*, découverts par M. Goux, professeur au lycée de Constantine. Cette importante constatation a provoqué, de la part de M. Ficheur, une étude détaillée qui lui a permis de préciser l'existence d'une bande triasique d'une longueur de 4 à 5 kilomètres. Ce terrain occupe une situation anormale; c'est une nappe étirée par un pli couché vers l'ouest entre les marnes de sénonien; ce pli paraît s'être produit sous l'influence de la faille qui limite à l'Est le massif crétacé du Chettaba. Ce déversement sur une largeur de 3 kilomètres environ constitue un de ces accidents singuliers qui déroutent le géologue.

Cette bande triasique est constituée par des argiles irisées avec cristaux de gypse, des cargneules, des calcaires bleus et des calcaires jaune-de-miel, avec fossiles abondants sur plusieurs points. Dans l'axe du pli, partiellement masqué par les dépôts caillouteux oligocènes (poudingues du Coudiat), apparaissent des masses gypseuses exploitées (plâtrières du Chettaba), qui se sont produites, vraisemblablement sous l'action de sources thermo-minérales, aux dépens des calcaires sénoniens.

La venue au jour de cette nappe triasique, très probablement après le suessonien, a été accompagnée d'actions métamorphiques par les eaux gypsifiantes.

Dans tous les cas, ces phénomènes sont antérieurs à la formation des dépôts oligocènes du bassin de Constantine.

M. Ficheur a continué et terminé les levés géologiques de la feuille de Constantine au 50.000^{e}, guidé par les tracés antérieurement établis sur la plus grande partie de la feuille par M. Jacob, Ingénieur des Mines.

Quelques autres pointements d'argiles irisées avec gypse et cargneules, identiques de facies à ceux du Chettaba, mais très restreints, et jusqu'ici sans fossiles, peuvent être, par analogie, attribués au trias; ils se trouvent en contact par faille avec le Néocomien inférieur, notamment au Kef Beni-Hamza, au Nord-Ouest d'Ain-Kerma et au flanc Nord du Djebel-Akral (Aïn-Tinn). Une autre bande très étroite se trouve pincée dans les marnes du Sénonien, au voisinage de la maison forestière d'Aïn-Goulia (Sud du Chettaba).

Les massifs calcaires du Djebel-Karkara et du Djebel-Zouaoui, doivent être attribués, suivant l'interprétation de Tissot, au crétacé inférieur. Les traces de requiénies y sont fréquentes; une assise marno-calcaire intercalée fournit *Ostrea aquila*, *Epiaster*, et bivalves, qui indiquent l'Aptien.

Ces îlots rocheux calcaires, isolés par des failles, de même que le massif du Kreneg, rendent impossible l'observation de la série complète des assises crétacées. Cependant au flanc sud du Djebel-Akral (Aïn-Tinn), M. Ficheur a reconnu l'assise des marnes à Ammonites pyriteuses du Djebel-Ouach (Barrèmien), surmontant en concordance des marno-calcaires qui reposent sur les calcaires dolomitiques de la crête de la montagne.

D'après ces observations, M. Ficheur a été conduit à établir comme suit la succession des assises crétacées :

1° *Néocomien inférieur.* — Calcaires dolomitiques du Djebel-Akral et du Kreneg ;

2° *Barrèmien.* — Marnes à Ammonites pyriteuses du Djebel-Akral et du Djebel-Ouach ;

3° *Aptien.* — Calcaires du Zouaoui et du Karkara à *Ostrea aquila;*

4° *Cénomanien.* — Calcaires à Caprines de la base du rocher de Constantine ;

5° *Turonien.* — Calcaires de la partie supérieure du rocher de Constantine ;

6° *Sénonien.* — Marnes brunes et marno-calcaires, à Micraster Peini du Chettaba; marnes noires du Mansourah ;

7° *Sénonien supérieur.* — Calcaires durs à rognons siliceux du Chettaba.

Dans aucun de ces massifs, la succession n'est complète ; les superpositions sont masquées par les dépôts oligocènes intermédiaires, ou interrompues par des failles.

Il est probable que l'Albien, non défini, est représenté par les bancs supérieurs des calcaires du Zouaoui.

Il est important de constater, en outre, la superposition directe, sans faille ni étirement, des marno-calcaires du Sénonien sur les calcaires aptiens, au flanc Est du Karkara, ce qui paraît indiquer une émersion locale des massifs infra-crétacés pendant le dépôt des calcaires cénomano-turoniens du rocher de Constantine, et expliquerait ce facies récifal du Cénomanien.

En dehors de ces massifs crétacés, la feuille de Constantine est occupée par les formations oligocènes, miocènes et pliocènes, dont la succession a été indiquée dans les études antérieures.

Il convient de remarquer que les calcaires travertins, disséminés en lambeaux à la surface des argiles oligocènes, à Mila, à El-Malah, etc., où ils semblent même intercalés dans ces argiles à gypse, ne sont que des lam-

beaux de démantèlement des calcaires lacustres pliocènes.

Ces calcaires (travertins d'El-Hadj-Baba) occupent une grande surface à l'Ouest du massif du Chettaba, et autour du Djebel-Akral, où ils sont portés jusqu'au sommet culminant (1.256 mètres).

II. **Massif de l'Aurès.** — M. Ficheur a continué, cette fois en compagnie de M. Lantenois, ses études sur le massif de l'Aurès, dont la tectonique est si remarquable.

Ses observations, facilitées par le concours empressé qu'il a trouvé près de M. le commandant de Mussy, chef des brigades topographiques, et des officiers de la brigade topographique de l'Aurès, ont porté principalement sur la partie Sud-Est (Ahmar-Khaddou et dépression des Beni-Sliman), sur les crêtes du Lazereg, et la dépression du Bouzina.

Il a pu suivre, du Nord au Sud de l'Ahmar-Khaddou, le développement progressif de l'assise des calcaires du Sénonien supérieur (calcaires d'El-Kantara), qui atteignent jusqu'à 200 mètres au-dessus de Mchounech.

Les formations oligocènes ont une grande importance dans les cuvettes synclinales et dans les vallées isoclinales de l'Aurès, et se développent sur les derniers contreforts à la bordure du Sahara. Ce sont des dépôts analogues à ceux d'El-Kantara :

1° A la base, dans le fond des dépressions, marnes blanches avec bancs de gypse ;

2° Au dessus, puissant développement des conglomérats rouges, surmontés d'argiles et grès grossiers rouges, qui donnent à ces régions une intensité de coloration remarquable. Ces conglomérats atteignent 300 à 400 mètres d'épaisseur sur les bords de la cuvette, où ils relèvent fortement. La situation de ces dépôts, discordants sur les assises crétacées, indique que les érosions puissantes qui ont suivi les plissements post-suessoniens de ce massif, avaient déjà modelé le relief à l'époque oligocène, marquée

par ces dépôts de transport, correspondant sensiblement aux vallées actuelles.

Ces conglomérats sont recouverts en bien des points et en discordance nette, notamment dans la vallée de l'Oued-Abdi, par les grès et calcaires à *Pecten Numidus* (Cartennien), de la même manière qu'à El-Kantara.

Les dépôts marins de l'époque cartennienne se sont étendus sur une grande partie du massif crétacé au Nord-Ouest, ainsi qu'en témoignent de nombreux lambeaux, qui relient les assises de la région d'El-Outaya à celles de Lambèse. Certains de ces lambeaux sont conservés à des altitudes supérieures à 1.700 mètres.

III. **Djurjura oriental.** — La continuation des tracés détaillés du Djurjura, sur la feuille au 50.000ᵉ de Tazmalt, a permis à M. Ficheur de vérifier l'exactitude de ses assertions sur les situations relatives des calcaires liasiques et des grès rouges, qui sont bien postérieurs au Lias, contrairement à l'hypothèse émise par quelques membres de la Société géologique de France sur l'âge triasique de ces grès.

IV. **Massif d'Arzew.** — Les indications fournies par les fossiles crétacés recueillis par M. Pomel, dans les schistes d'Arzew, ont amené M. Ficheur à reprendre l'étude de ce massif, à l'aide de la feuille au 50.000ᵉ.

En dehors de ces fossiles, Ammonites pyriteuses, Belemnites, peu déterminables, et Orbitolines, indiquant probablement le Barrèmien, les schistes et quartzites de ce massif présentent, en dehors des parties métamorphisées par les actions minérales, la plus grande analogie d'aspect avec les argiles schisteuses et quartzites néocomiens du massif de Blida. Au Djebel-Orousse, les lambeaux schisteux se trouvent nettement superposés aux calcaires-marbres du Lias, dont l'analogie avec les calcaires de Blida et du Mermoucha est encore très remarquable. Ces calcaires sont repliés sur le flanc Sud du

Djebel-Orousse et déversés sur les schistes argileux, qui paraissent ainsi inférieurs au Lias, d'où leur attribution antérieure au Trias.

Au Djebel-Kahar, les poudingues et schistes rouges et violacés sont également plus anciens que les schistes d'Arzew ; la superposition apparente sur le flanc Sud-Ouest est due à un renversement de l'assise des poudingues. L'analogie extrême de facies, de même que pour les poudingues de Beni-Menir, avec le Permien de la Provence, amène à conclure à l'âge permien de ces poudingues et schistes du Kahar (Montagne des Lions).

V. Le voyage de **Laghouat** et de **Ghardaïa**, fait par MM. Jacob et Ficheur, à l'occasion des travaux du sondage artésien de Ghardaïa, a permis de nombreuses observations de route sur les facies du crétacé dans la région de Laghouat.

Dans la Chebka du Mzab, les gours qui surmontent le plateau dolomitique turonien sont formés de marnes à gypse avec lits de calcaires siliceux, dans lesquels aucun fossile n'a été rencontré ; ce sont problablement des représentants du Sénonien inférieur.

Les environs de Bousaâda ont été l'objet de quelques observations tectoniques, et enfin la coupe de Msila à Bordj-bou-Arréridj a permis de constater l'analogie des assises d'argiles à gypse et poudingues rouges du versant Sud du Mahdid avec les couches d'El-Kantara, et de justifier leur attribution à l'Oligocène.

M. Blayac a continué ses études sur la région d'Aïn-Fakroun et les montagnes voisines, le Djebel-Djaffa, Djebel-Fortas, Djebel-Hazebri, Djebel-Guérioun. Il a prolongé ses recherches au Sud et à l'Ouest dans les chaînons qui environnent les bassins des chotts, Djebel-Maghzel, Djebel-Hanout, Djebel-Nif-en-N'Ser, dont il a délimité es formations géologiques sur une carte au 200.000e.

I. **Région des Chotts.** — Ses observations ont confirmé son interprétation antérieure, sur l'âge des calcaires massifs du Djebel-Hazebri (Aptien à Orbitolines), du Djebel-Guérioun (calcaires à *Toucasia*) et du Nif-en-N'Ser. Sur le flanc Est, à la base de cette dernière montagne s'appuient des couches marno-calcaires à *Ostrea flabellata* et *Aspidiscus cristatus* (Cénomanien) autour de Boutinelli et au voisinage immédiat du chott Tinecilt.

Les couches jurassiques d'Aïn-Yagout, dans l'axe de l'anticlinal néocomien, présentent des calcaires rouges qui correspondent à l'Oxfordien fossilifère de la chaîne du Touggourt de Batna.

Au voisinage des chotts, Tinecilt, Zmoul, Ank-Djemel, Djendeli, existent de nombreux pointements gypso-salins, avec argiles irisées et cargneules, dont le facies est semblable à celui des assises triasiques du Chettaba. La salure des eaux des chotts voisins provient en majeure partie de ces affleurements, mais résulte aussi du lavage des assises oligocènes qui renferment également du gypse et du sel.

II. M. Blayac a repris, dans les premiers mois de l'année 1897, l'étude de la **région de Souk-Ahras**, et il a délimité, en majeure partie, les limites géologiques sur la feuille au 50.000^e^ de Souk-Ahras.

L'attention sur cette région a été attirée, sur l'observation de M. M. Bertrand, par l'importance des masses incohérentes d'argiles gypseuses, de cargneules, avec quartz bipyramidés et pyrites. La stratification y est absolument indéfinissable, sauf en quelques points où les argiles bariolées empâtent des lambeaux plus ou moins importants de calcaires bleuâtres, durs, souvent dolomitiques.

Ce terrain gypseux, à facies triasique, a été l'objet d'une étude détaillée, dans ses relations avec les formations voisines. Les calcaires en plaquettes près de l'hôpi-

tal de Souk-Ahras et sur la route de la Calle, présentent des moules de bivalves, parmi lesquels un examen minutieux a permis à M. Munier-Chalmas de reconnaître un Mytilus assez commun en Lorraine dans l'Infra-Lias : *Mytilus psilonoti* Quenstedt. La présence de ce fossile et l'analogie de facies que présentent ces calcaires, et aussi l'ensemble du terrain gypso-dolomitique, avec certaines parties du Trias de Provence, et les pointements analogues des Pyrénées occidentales, ont conduit M. Blayac à considérer ces dépôts gypseux comme triasiques.

Une grande partie de ces observations a été faite en compagnie de M. Gentil.

D'autres lambeaux, absolument analogues comme facies, et non moins importants, s'échelonnent vers le Sud-Ouest jusqu'au Djebel-Zouabi. Une masse importante du même terrain s'étend au Nord-Ouest, à partir de Laverdure, et autour du Djebel-Nador, dans la vallée de la Seybouse.

Étudiant les relations de ce terrain disloqué avec les formations sédimentaires voisines, MM. Blayac et Gentil ont constaté que le Sénonien calcaire à Inocérames, le Suessonien et le Medjanien viennent reposer sur ce terrain gypseux, et, en outre, qu'en plusieurs points les couches inférieures de ces différentes formations présentent des poudingues avec éléments roulés d'argiles bariolées et de cargneules du terrain sous-jacent (*).

Les terrains crétacés anté-sénoniens ne se montrent qu'à une certaine distance à l'Est, le Cénomanien dans la vallée de la Medjerda ; au Nord, le Barrèmien à Medjez-Sfa parait cependant au voisinage de la masse gypseuse.

M. Blayac a été conduit à rattacher au Suessonien les couches marneuses de Zarouria, qui se relient à celles du

(*) Une étude détaillée sur le Trias de la région de Souk-Ahras a été publiée par MM. Blayac et Gentil dans le *Bull. de la Soc. Géol. de France* (14 juin 1897).

Dekma, et qui avaient été considérées comme helvétiennes.

M. BRIVES a porté ses observations sur la région de la **rive gauche du Chélif**, qui s'étend depuis Orléansville jusqu'à Saint-Denis-du-Sig.

I. Sur toute la bordure, l'Helvétien forme une bande continue et présente sensiblement la même constitution.

1° A la base, des argiles gris-bleuâtres reposant en discordance sur les poudingues Cartenniens ;

2° Grès et poudingues avec fossiles à l'état de moules ;

3° Marnes bleues, passant à des marnes sableuses à nombreux fossiles bien conservés, parmi lesquels : *Cardita Jouanneti*, *Ancilla glandiformis*, *Pyrula condita*, *Pecten* cf. *planosulcatus*, *Ostrea crassissima;*

4° Calcaires à *Lithothamnium* de l'Oued-Riou.

Tout cet ensemble représente le groupe Helvétien, indépendant du Sahélien, qui se développe vers l'Ouest (Perrégaux), où il présente la succession suivante :

a) Zone micacée ;

b) Marnes blanches à rognons de silex ;

c) Gypses interstratifiés ;

d) Marnes blanches feuilletées avec tripoli.

Cette série est absolument la même que dans le Dahra.

Vers Bou-Henni, au Djebel-Sakeif, les parties supérieures des marnes deviennent plus calcaires, et, le long du chabet Fra-ben-S'rir, ce sont des calcaires massifs à échinides et mélobésies qui représentent ce niveau.

Ce qui confirme les données fournies par les études antérieures.

II. Au **Nord du Chélif,** M. Brives a continué les tracés géologiques des feuilles au 50.000° du Dahra, notamment la feuille de Charon.

La succession des formations miocènes et pliocènes

est absolument identique à celle qui a été décrite dans la feuille voisine de Renault.

C'est surtout en suivant le chemin qui conduit de Charon à Rabelais que la discordance entre les divers étages est le plus manifeste.

III. **Feuille de Tenès.** — Le Cartennien est représenté par des poudingues distribués en une série de témoins sur les contreforts du massif des Beni-Hidja.

Le crétacé est représenté par le Danien et le Sénonien marneux.

Au Nord de Montenotte, les travaux d'exploitation de la mine de fer ont mis à jour des calcaires bréchoïdes de l'Éocène moyen et des calcaires blancs compacts semblables à ceux du cap Ténès, et attribués au Lias moyen, ces derniers renversés sur les précédents.

Ce renversement montre la superposition anormale suivante :

1° Calcaires du Lias moyen;

2° Brèches calcaires de l'Éocène moyen;

3° Poudingues et grès de Cartennien;

4° Marnes cartenniennes.

En discordance au-dessus de cette série renversée s'étend l'Helvétien marneux.

M. Flamand a poursuivi ses études sur les Hauts-Plateaux oranais (région de Saïda) et a fait de nouvelles observations sur quelques points de la région littorale (Aïn-Nouissy, Arzew).

I. **Hauts-Plateaux oranais.** — La vallée de Tifrit, si intéressante déjà par la découverte faite par M. Flamand de fossiles des divers étages du Lias, a fourni à son étude récente des documents importants pour la classification des assises schisteuses antérieures au Lias.

A. Les terrains *anté-triasiques* comprennent deux séries d'assises distinctes et discordantes, ainsi classées :

S_1, Schistes et quartzites des Traras et de Garrouban, renfermant, à la base :

a) Quartzites noirs, rouges et verts;

b) Schistes noirs ou verdâtres, passant à des schistes à chiastolithe, développés au Djebel-Lachdar en contact avec de nombreux pointements de roches granitoïdes et porphyriques;

c) Schistes argileux noirs, non cristallins.

S_2, Poudingues, grès, quartzites et argiles vertes; les poudingues renferment les éléments de S_1. Ces assises diffèrent lithologiquement des précédentes et sont traversées de filons épais de roches porphyriques et mélaphyriques; elles sont recouvertes en discordance absolue par les assises inférieures de la série liasique et peuvent être attribuées au Permo-carbonifère.

B. *Terrains infra-liasiques*, en couches presque horizontales, sur les assises précédentes fortement plissées, mais en concordance avec le Lias inférieur.

Les couches inférieures, formées de bancs épais de quartzites durs, alternant avec des calcaires marneux, jaune-de-miel, jusqu'ici sans fossiles, pourraient représenter le *Trias*.

L'*Infra-Lias*, reposant le plus souvent sur les schistes S_1, S_2, se compose de :

1° Conglomérat d'éléments quartzeux, granitiques et porphyriques des terrains S_1, S_2, passant à des Arkoses à petits grains (épaisseur 8 à 10 mètres);

2° Argiles métamorphisées par les venues mélaphyriques (15 à 20 mètres) avec coulées interstratifiées; sont principalement visibles au-dessus du Djebel-Khechba, où l'on observe des calcaires siliceux à *Cypricardia porrecta*, et des marnes et quartzites à *Cardinies;*

3° Calcaires gris-foncé très durs, siliceux, à nodules de silex rosés (25 mètres) servant de substratum au Lias inférieur.

L'assise I paraît représenter l'étage *Rhétien*; les assises 2 et 3, l'étage *Hettangien*.

C. *Terrains liasiques*. — Les trois étages du Lias sont représentés par leurs fossiles :

1° *Sinémurien*. — Calcaires gris un peu siliceux, subcristallins et même dolomitiques à la partie supérieure; ces calcaires (10 à 12 mètres) sont très riches en Spiriférines; ils forment les falaises supérieures de la vallée de Tifrit, et au Nord-Ouest de la Cascade; les fossiles principaux sont *Spiriferina Walcotti*, *Spiriferina rostrata*, *Plagiostoma giganteum*, *Pecten*, etc.;

2° *Charmouthien*. — Calcaires marneux (12 à 15 mètres), riches en brachiopodes, parmi lesquels : *Rhynchonella tetraedra*, *Rhynchonella variabilis*, *Terebratula subpunctata* avec *Harpoceras normannianum;*

3° *Toarcien*. — Calcaires marneux rosés (10 mètres) à *Harpoceras radians*, *Pholadomya reticulata*, etc.

Au dessus viennent les puissantes assises dolomitiques qui représentent le *Dogger* (*Bajocien-Bathonien*) (Dolomies de Saïda).

A Saïda, le substratum visible dans le fond des ravins, sous les dolomies, est formé de calcaires rouges marneux semblables au Lias supérieur de l'Oued-Tifrit.

M. Flamand a reconnu l'extension des assises jurassiques supra-oxfordiennes à l'Est du plateau des Hassasna. Ce sont des calcaires intercalés d'argiles vertes et rouges et de pseudo-cargneules, gisements de bois silicifiés.

II. **Région littorale.** — *A*. M. Flamand a étudié à nouveau les couches voisines du pointement gypso-ophitique d'*Aïn-Nouissy;* la découverte de fossiles lui a permis de préciser l'âge de ces couches.

Au Nord, ce sont les assises dolomitiques et des cargneules paraissant se rapprocher de l'Infra-Lias de Tifrit.

Au Sud, des quartzites alternant avec des calcaires jaune-de-miel, qui renferment des moules de Myophories

et de petits gastropodes d'espèces voisines de celles du Trias de la Thuringe, les gypses apparaissent sublités, en concordance à la base des assises précédentes.

Ce lambeau paraît devoir se rapporter au Trias.

B. **Massif d'Arzew.** — Les schistes d'Arzew, ainsi que l'a constaté M. Ficheur, et d'après les fossiles (Ammonites pyriteuses et orbitolines) recueillis et signalés en 1888 par M. Pomel, doivent être rapportés au crétacé inférieur.

Au Djebel-Kahar, M. Flamand a remarqué une certaine similitude de facies entre les schistes et poudingues (poudingues de la montagne des Lions) et les couches S_2 de Tifrit.

A la plâtrière de Krichtel, le gypse est accompagné d'une roche ophitique, entourée de marnes irisées et cargneules. La roche verte ophitique englobe des fragments de quartzites gris, identiques aux quartzites infra-liasiques de Tifrit ou d'Aïn-Nouissy. La venue de cette roche paraît donc postérieure à ces dépôts.

M. Gentil a continué, de janvier à mars 1897, ses recherches dans la province d'Oran, et exploré successivement la région littorale d'Oran au cap Figalo et la vallée de la Tafna.

I. **Région littorale d'Oran au cap Figalo** (feuilles des Andalouses et de Lourmel). — Le *Cartennien* se poursuit sur le littoral, depuis Sainte-Clotilde (Oran) jusqu'à Madagre ; il est surtout développé aux Andalouses (El-Ançor) à l'état de marnes caractéristiques, reposant sur une zone de grès et poudingues.

C'est à la surface de ce Cartennien que s'étalent les coulées du volcan de Tifarouine (Mzaïta), dont l'étude a été faite dans le cours de l'année précédente.

M. Gentil a recherché avec soin l'origine des grès micacés qui se trouvent au-dessous du Sahélien : ils pro-

viennent de roches rhyolitiques dont le seul témoin visible se trouve aux îles *Habibas*.

Là se montrent en effet :

1° Une éruption sous-marine d'une andésite à pyroxène, qui peut correspondre aux andésites à mica noir, ou bien à l'andésite à hypersthène de Tifarouine;

2° Des marnes à gypses, identiques à celles de Bou-Zedjar, qui recouvrent les tufs et les coulées de cette éruption sous-marine;

3° Ces marnes sont enfin recouvertes et modifiées par des tufs et des filons de rhyolite.

Le résultat de ces études successives a conduit M. Gentil à admettre l'ordre chronologique suivant pour les dépôts miocènes et les éruptions volcaniques de cette région littorale :

1° *Cartennien*, constitué par des marnes plus ou moins dures, conchoïdes, avec quelques grès et poudingues à la base; fossiles à Sainte-Clotilde.

2° *Miocène moyen*, grès à mica noir avec obsidienne, grès micacé à quartz bipyramidés (exceptionnellement grès à hypersthène au contact immédiat du volcan de Tifarouine).

Les grès passent latéralement à des marnes à cristaux de gypse (Bou-Zedjar, Habibas).

Pendant la durée des dépôts de cet étage se sont succédées d'importantes éruptions volcaniques :

a) D'abord éruption d'andésite micacée et d'andésite à mica noir, qui ont fourni la plus grande partie des matériaux des grès micacés (Madagre, Bou-Zedjar, cap Figalo); l'andésite à pyroxène des Habibas paraît contemporaine;

b) Formation du volcan d'andésite à hypersthène de Tifarouine;

c) Éruption rhyolitique des îles Habibas.

3° *Sahélien* (miocène supérieur), constitué par des calcaires blancs et marnes blanches, auxquelles il faut peut-

être associer quelques lits de grès à débris volcaniques à leur base. Ce Miocène supérieur est caractérisé par les fossiles d'Oran, de Bou-Zedjar, etc.

L'activité volcanique s'est au moins considérablement ralentie pendant cette période. Peut-être a-t-elle continué d'une façon effective au début. Dans la suite, elle s'est manifestée seulement par des émanations gazeuses et hydrothermales, qui ont amené au jour d'importantes quantités de silice gélatineuse qui ont considérablement altéré les roches rencontrées. Ces manifestations sont assez nettes aux Habibas. Elles sont très accentuées dans le volcan de Tifarouine. En ce point, les eaux siliceuses ont modifié l'*andésite* pour la transformer en une roche essentiellement silicifiée, qui a été parfois confondue avec des trachytophyres, des rhyolites, etc. De plus, elles ont également modifié les calcaires coralligènes du Sahélien, qui s'étaient déposés sur le revers méridional de l'ancien volcan.

4° *Pliocène*. — Cette formation continue le Pliocène d'Oran ; au cap Figalo, il est constitué par des calcaires coralligènes avec *Pecten*, *Ostrea*, etc., recouverts de sables à hélices.

Ce terrain recouvre, au cap Figalo, le Sahélien modifié par silicification. Ainsi paraît être limitée, à la fin de l'époque miocène, l'activité volcanique de cette région.

II. **Vallée de la Tafna.** — M. Gentil a reconnu, sur le flanc Est du Sidi-Sfian aux Traras, le déversement des calcaires liasiques sur le Cartennien, et constaté à nouveau, sur ce versant, la discordance, bien nette, de l'Helvétien sur le Cartennien.

Éruptions volcaniques de la Tafna. — Les grès trachytiques qui forment la base du miocène moyen dans la région de Bled-Chaâba, proviennent du démantèlement de dykes assez puissantes d'une roche trachytique à grenat que M. Gentil a retrouvée en place, à Hammam-bou,

R'ara et à l'Oued-Malah, traversant les marnes cartenniennes.

Les basaltes du Miocène inférieur, déjà reconnus l'année précédente aux Ouled-Riah, existent également dans l'Oued-Bekiou.

De nouvelles observations sont venues s'ajouter à celles que M. Gentil avait précédemment signalées relativement aux basaltes du Miocène supérieur. Les grès à éléments presque exclusivement volcaniques, considérés comme un terrain sédimentaire, ne sont autres que des tufs aériens de ces volcans basaltiques. La présence de cailloux roulés et même de fragments d'huîtres, en certains points de ces tufs, s'explique par les projections de ces volcans; ces roches étrangères proviennent de la base du Miocène moyen.

III. **Région de Souk-Ahras.** — M. Gentil, accompagnant M. Blayac dans une partie de ses courses de la région de Souk-Ahras, a étudié les roches éruptives rencontrées dans ce massif gypseux, dont il a été question ci-dessus.

M. Ritter, collaborateur à la Carte géologique de France, a été chargé, par le Service géologique de l'Algérie, de l'importante étude du Djebel-Amour; dans cette première campagne, il a tracé les limites des différentes formations sur la plus grande partie de la feuille au 200.000ᵉ d'Aflou.

I. **Djebel-Amour.**— Les terrains sédimentaires présentent la succession qui a été précisée par les travaux antérieurs. Les calcaires urgo-aptiens renferment *Ostrea Eos*, *Ostrea Tisiphone*, *Terebratula sella*, etc.

Les grès à amandes ou à dragées paraissent devoir être rapportés à l'Albien. Au dessus vient la série des assises du Cénomanien, avec bancs de gypse, surmontés des calcaires dolomitiques du Turonien.

M. Ritter s'est principalement attaché à l'étude tecto-

nique de cette remarquable région, dont les plissements sont rendus manifestes par les tracés géologiques.

Les plis sont très serrés et donnent lieu à des chaînes allongées.

Le cœur du massif est formé par la cuvette synclinale d'Aflou, constituée par les grès albiens, surmontant les assises calcaires de l'Urgo-Aptien. Au Djebel-Gourou, les grès sont surmontés du Cénomanien et du Turonien. Au Nord de cette cuvette synclinale, un premier anticlinal, long et étroit, est formé par les bancs calcaires urgo-aptiens redressés. Le synclinal suivant présente la série jusqu'au Turonien, qui constitue les sommets du Sidi-Okba, du Guern-Arif.

Au Nord se développe un anticlinal largement étalé, masqué en partie par les atterrissements dans sa partie occidentale; vers l'Est, au contraire, dans la chaîne de Sidi-bou-Zid, il laisse apparaître le Néocomien jusqu'au Jurassique.

Au Sud de la cuvette d'Aflou, un pli anticlinal important s'étend depuis le Djebel-Mehasseur jusqu'au-delà de Taouiala, découvrant le Néocomien et même le Jurassique au Djebel-Ziad. Il borde, au Nord, le synclinal peu accusé qui forme les Gadas, plateaux de grès albiens, profondément découpés.

II. M. Ritter a commencé, en outre, l'étude des roches éruptives du **massif des Beni-Mimoun**, au Sud de Bougie, granites et liparites, et constaté à nouveau la pénétration des granulites dans les assises de l'Éocène supérieur.

M. Ritter a fait encore une étude micrographique des minerais de fer d'**Aïn-Oudrer**, près Beni-Amram, intercalés dans les schistes précambriens.

§ 2. — PUBLICATIONS.

M. Pomel a continué la description des mammifères quaternaires de l'Algérie.

Il a terminé les monographies suivantes :

1° *Les Équidés*,

2° *Les Suilliens*,

3° *Le Singe et l'Homme*,

4° *Les Ovidés*,

comprenant quarante-quatre planches dessinées sur pierre par M. Ferrand.

M. Brives a publié une Étude géologique sur *les terrains tertiaires du Dahra et de la vallée du Chélif*, accompagnée de planches de coupes lithographiées par M. Ferrand.

M. Brives a donné également à l'impression un fascicule d'une Étude paléontologique, *Fossiles tertiaires*, accompagnée de cinq planches de fossiles dessinées par M. Ferrand.

L'impression des feuilles de *Blida* et de *Médéa* au 50.000ᵉ a été terminée au début de l'année 1897.

La feuille géologique de *Renault* au 50.000ᵉ a été donnée à la gravure ; l'impression en a été terminée dans les premiers mois de 1898. La publication de cette feuille offre un grand intérêt, à cause de l'importance de cette région agricole, et aussi au point de vue purement stratigraphique ; elle présente la série la plus complète des formations tertiaires dans le Dahra, avec les diverses modifications des assises. La feuille de Bosquet, qui la prolonge vers l'Ouest, sera donnée à l'impression dans le courant de l'année.

Alger, le 30 juin 1898.

Les Directeurs,

A. Pomel,
Membre correspondant de l'Institut de France.

J. Pouyanne,
Inspecteur général des Mines.

NOTES
SUR LES
CHAMPS D'OR DE COOLGARDIE

Par M. L. GASCUEL, Ingénieur civil des Mines.

INTRODUCTION.

La colonie d'Australie Occidentale (voir Pl. V, *fig.* 1), qui occupe presque toute la moitié ouest du grand continent australien, c'est-à-dire un territoire huit fois plus étendu que celui des Iles Britanniques, était, jusqu'à ces dernières années, à peu près inconnue du public non seulement en France, mais aussi en Angleterre, et même on peut dire en Australie. Les établissements de King George's Sound et de Perth sont pourtant parmi les plus anciens que les Anglais aient fondés dans l'hémisphère sud ; seulement le pays ne se prêtait pas aussi bien qu'autour de Sydney, de Melbourne ou de Brisbane, à l'élevage en grand du mouton, source première de la prospérité des colonies australiénnes ; il fut donc délaissé. Quand vinrent les découvertes de riches gisements aurifères dans l'est, les affolantes trouvailles de Bendigo et de Ballarat, et que la fièvre de l'or gagna tout le continent, entre 1850 et 1860, on chercha aussi dans l'ouest, mais on ne trouva rien : l'Ouest fut condamné ; on oublia littéralement son existence, et la pauvre colonie continua à végéter misérablement, tandis que ses voisines voyaient leur population s'élever à des centaines de mille âmes, construisaient des chemins de fer de tous côtés et s'enorgueillissaient de villes magnifiques comme Melbourne, Adélaïde, Sydney.

Cependant, en 1882, des explorateurs, s'étant aventurés dans le nord du pays, y découvrirent d'abord d'excellents pâturages pour les moutons dans les vallées inférieures des rivières Murchison, Gascoyne, Fitzroy, etc., ce qui venait fort à point, les terrains de parcours commençant à se faire rares dans l'est, puis enfin de l'or : les gisements de Kimberley. Ce fut le signal du réveil. De tous côtés les prospecteurs affluèrent; la colonie fut fouillée dans tous les sens, et successivement on découvrit les champs d'or de Pilbarra, Ashburton, Murchison, Yilgarn, Dundas (voir Pl. V, *fig.* 1); la fortune souriait enfin à l'Australie Occidentale. En 1890, elle avait des voies ferrées assez étendues reliant la capitale, Perth, aux villes principales Albany, Bunbury, Fremantle, Geraldton; la locomotive pénétrait même jusqu'à Southern Cross, centre principal des champs d'or de Yilgarn, situé à 250 kilomètres à l'est de Perth, en plein pays inconnu, désigné hier encore sur les cartes sous le nom de « Grand Désert de Victoria ». La colonie, jusque-là colonie de la Couronne, c'est-à-dire étroitement soumise à l'administration anglaise, devenait indépendante comme l'étaient, depuis longtemps déjà, Queensland, New South Wales, South Australia et les autres. Enfin, en 1892, l'impulsion finale est donnée par la découverte des champs d'or de Coolgardie, faite par le prospecteur Bailey et ses compagnons; l'Australie Occidentale est désormais connue du monde entier. Aujourd'hui c'est un pays prospère ; le « Grand Désert de Victoria », qui en occupe bien plus de la moitié, n'épouvante plus personne ; la voie ferrée y pénètre jusqu'à Kalgoorlie et Menzies, à près de 700 kilomètres de la côte ; demain elle le traversera de part en part pour aller se souder au réseau Sud-Australien et réaliser ainsi le transcontinental de Perth à Adélaïde, Melbourne et Sydney ; il est sillonné de diligences, de bicyclistes, de convois de chameaux, conduits par des Afghans, de lourds attelages, qui circulent entre

les nombreux camps miniers. C'est l'image même de l'activité et de la vie qui sont venues à l'Australie Occidentale, après une longue période d'inertie et de sommeil. Cette activité, cette vie, ce sont les champs d'or de Coolgardie qui les ont créées et qui les alimentent.

Les champs d'or de Coolgardie. — Le territoire compris sous la dénomination de « Champs d'or de Coolgardie » (voir Pl. V, *fig.* 2, et Pl. VI) est immense : il ne mesure pas moins de 170.000 kilomètres carrés de superficie. Sans doute il n'y a pas de l'or sur toute cette étendue, et il s'y trouve nombre de parties très peu connues encore. Mais il y a aussi de très nombreux districts aurifères assez rapprochés les uns des autres : Coolgardie, Kalgoorlie, Menzies, Kurnalpi, Kanowna, Bulong, Wiedjiemoolta, etc. La capitale du territoire et la ville la plus importante aujourd'hui de l'Australie Occidentale, c'est Coolgardie.

La ville de Coolgardie est située à 600 kilomètres environ de la côte occidentale de l'Australie, droit à l'est de Perth, à peu près sous le 31° degré de latitude sud. Elle s'est fondée en 1893. Dès que le bruit de découvertes merveilleuses se fut répandu dans les colonies de l'est et dans le monde, les chercheurs d'or arrivèrent de partout et formèrent un vaste camp à côté même de l'endroit où Bailey, ayant voulu enlever une pierre contre laquelle son cheval avait buté, avait relevé un morceau d'or. Ce camp est devenu la ville actuelle, peuplée de quinze à vingt mille âmes, et où on peut vivre aussi confortablement que dans une ville d'Europe, si on fait abstraction, toutefois, de la chaleur, de la poussière et des mouches, les trois fléaux australiens par excellence.

Les champs d'or sont un pays complètement plat, sauf des reliefs très rares et très peu accusés, situés à une altitude moyenne de 350 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le climat est excessivement sec et, grâce à cela sans

doute, assez salubre ; il y pleut deux ou trois fois par an dans le cours d'un seul mois, celui de juillet ; presqu'aussitôt après recommencent des chaleurs torrides qui durent neuf mois de l'année. Le sol est une terre sablonneuse rouge avec de nombreux débris de quartz et des fragments ferrugineux ; il est couvert d'une forêt continue d'arbres de la famille des Eucalyptus, dont les troncs sont assez distants les uns des autres pour que la circulation soit facile ; le sous-bois est maigre et peu fourré : ce sont des arbustes du genre Spinifex ; pas un brin d'herbe, nulle part aucun ruisseau.

De temps à autre on rencontre des dômes granitiques perçant la terre rouge ; ils sont élevés de quelques mètres à peine au-dessus du plateau ; ils sont extrêmement précieux, car, sur leur pourtour, on trouve, en général, des sables imprégnés d'eau, saumâtre toujours, et dans les creux des rochers l'eau des pluies se conserve quelque temps ; or la question de l'eau est capitale dans ce pays. Quelques-uns de ces soulèvements granitiques forment des collines atteignant jusqu'à 150 mètres de hauteur : ces collines sont rares et toujours isolées.

Il y a des lacs dans les champs d'or. On désigne sous ce nom de vastes dépressions sablonneuses, dénudées, où il n'existe le plus souvent pas une seule goutte d'eau visible, mais où, en certains points, sous une mince croûte superficielle, les sables sont tellement imprégnés que la traversée d'un « lac » inconnu est chose fort périlleuse. La surface de ces « lacs » est couverte de myriades de cristaux de sel, qui, réfléchissant la lumière, produisent un mirage d'une intensité et d'une netteté extraordinaires ; même prévenu, on croit absolument voir une magnifique nappe d'eau ombragée par de grands arbres.

Le sous-sol est formé de roches, décomposées jusqu'à une profondeur très variable, suivant les localités et même les divers points d'une même localité, mais qui

n'est guère supérieure à 50 mètres ; ces roches sont des granites et des roches basiques vert foncé, principalement amphiboliques. On connait fort peu de chose sur l'étendue occupée par chacune de ces deux espèces de roches et à peu près rien sur leurs relations réciproques. Elles sont recoupées en certains points — qui constituent les différents districts aurifères — par des filons dont les affleurements sont très rarement visibles, la terre rouge recouvrant le sous-sol d'un manteau de 1m,50 à 2 mètres d'épaisseur.

Nous ne pouvons songer à faire ici la monographie de chacun des districts aurifères des champs d'or de Coolgardie ; cela nous entraînerait trop loin, et d'ailleurs nous ne les avons pas tous visités. Nous parlerons simplement des trois plus importants d'entre eux, ceux de Coolgardie, de Kalgoorlie et de Menzies ; nous dirons aussi quelques mots de celui de Norseman, dans les champs d'or de Dundas.

DISTRICTS AURIFÈRES.

I. *District de Coolgardie.* — Ce district s'étend autour de la ville de Coolgardie. Il y a là un grand nombre de filons de quartz recoupant les uns le granite, les autres, et c'est la grande majorité, la diorite ; ils accompagnent le contact des deux roches qui se fait sous la ville même, suivant une ligne orientée à peu près nord-sud ; ils sont dirigés, pour la plupart, suivant le nord-nord-ouest ; ils sont presque verticaux, tout au moins très fortement inclinés, surtout dans la zone intacte de la roche encaissante, qui commence vers 30 mètres de profondeur ; dans la zone supérieure oxydée, leur inclinaison est souvent plus faible, tout en restant encore considérable. On en trouve de toutes les épaisseurs, jusqu'à 2 et 3 mètres ; la moyenne paraît être de 0m,80 à 1 mètre. Leurs épontes

sont nettes, surtout dans la zone oxydée; les plans de contact y sont polis, striés, souvent recouverts d'une mince couche argileuse noirâtre; dans la zone intacte, le quartz et la roche se pénètrent souvent l'un l'autre, soit par pointements alternés, soit par bandes ou filets parallèles se succédant sur une certaine épaisseur; il n'y a plus, dans ce cas, d'épontes proprement dites.

Ces filons présentent assez fréquemment la structure en chapelets; quelques-uns même se réduisent à de simples lentilles isolées les unes des autres; pourtant, en général, on peut les suivre sur des distances assez considérables pour qu'il n'y ait pas lieu de douter qu'ils soient de vrais filons de fracture; et sans doute les travaux des mines établiront qu'ils ne se coincent pas en profondeur.

Le quartz de ces filons est, en général, exempt de toute intercalation rocheuse, c'est-à-dire blanc et pur: il est opaque et laiteux quand il est stérile, translucide et à éclat gras quand il renferme de l'or finement disséminé; dans ce cas, il est assez fortement minéralisé et alors ferrugineux, carié, coloré en jaune dans la zone oxydée supérieure, semée de mouches de pyrite, de chalcopyrite, de mispickel, de galène, de blende dans la zone intacte. La pyrite est le minéral le plus répandu; quelques filons, celui de Bailey's Reward, par exemple, donnent beaucoup de mispickel; la chalcopyrite est assez rare, la galène et la blende également.

Dans la zone oxydée, l'or est à l'état libre, soit finement disséminé dans la masse, soit en particules visibles: grains, mouches, filaments, plaques, ou encore pellicules très minces comprises dans ce qui paraît être des plans de clivage du filon et visibles, grâce à la translucidité du quartz (Vale of Coolgardie). Dans la zone intacte il est combiné ou associé aux divers sulfures.

Au point de vue de la fine dissémination de l'or dans la masse du quartz, les filons de Coolgardie se divisent en

deux classes : ceux où la masse est à peu près stérile (quartz laiteux et opaque), ceux où elle est assez riche pour être broyée (quartz translucide à éclat gras); les derniers sont d'une richesse assez régulièrement distribuée sur des étendues plus ou moins importantes; les premiers, au contraire, sont d'une irrégularité excessive; l'or y est concentré dans des zones extrêmement peu étendues, mais très riches; c'est le filon de Bailey's Reward, par exemple, qui a produit en quelques mois plus d'une tonne et demie d'or, mais qui ne peut plus depuis longtemps faire vivre l'exploitation; c'est encore le filon de Londonderry, d'où les premiers prospecteurs retirèrent 8.000 onces — près de 250 kilogrammes d'or — d'un trou de $1^m,50$ de largeur, $1^m,80$ de longueur et $0^m,75$ de profondeur, mais qui est aussi incapable que celui de Bailey's de fournir une production régulière; ces deux filons sont puissants et réguliers; seulement leur teneur moyenne ne dépasse guère 4 à 5 grammes.

L'or et les minéraux sont distribués dans le corps du filon sans ordre apparent. Même en dehors des cas extrêmes de Bailey's et de Londonderry, on peut dire que la richesse, dans le district de Coolgardie, est irrégulière : elle n'y est pas en « chutes » bien marquées. Dans quelques cas, sur une certaine distance, il y a concentration au voisinage d'une éponte, le plus souvent du toit; dans d'autres cas, à la mine Vale of Coolgardie par exemple, la concentration se fait dans une zone de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, occupant le milieu du filon et se poursuivant parallèlement aux épontes. A Londonderry il existe une zone de ce genre, mais plus rapprochée du toit que du mur; elle est formée de quartz translucide, de mica blanc en nids et d'argile blanche; dans les parties riches du filon on a observé que cette zone était très enrichie, de même que la région comprise entre elle et le toit. Peut-être faut-il y voir le produit d'une réouverture;

il est à remarquer en tous cas que le filon de Vale of Coolgardie recoupe le granite et que celui de Londonderry est très voisin de cette roche.

On rencontre dans le district quelques exemples, rares il est vrai, de filons couchés. Ainsi, à la mine Westralia, on connaît un filon plat (*flat reef*) très curieux : c'est une véritable couche de quartz très régulière paraissant formée d'assises parallèles au mur ; l'épaisseur est de $0^{m},60$ à $0^{m},70$; l'inclinaison est de 6 à 7 p. 100 seulement. Ce filon, qui recoupe le granite, donne un quartz aurifère d'un très bel aspect, renfermant une assez forte proportion d'or visible et très riche en mispickel.

La roche encaissante est, avons-nous dit, le plus souvent la diorite. C'est une roche compacte, à grain fin, très dure dans la zone intacte ; dans la zone supérieure oxydée elle est tendre, mais assez consistante. Sa couleur normale est le vert foncé ; oxydée, elle est rougeâtre ou jaunâtre avec parties brunes. Au voisinage du filon, elle est altérée ; dans la zone intacte, cette altération se trahit par une dureté moindre, une texture plus grossière, une couleur brunâtre, en même temps qu'il y a pénétration de silice et de pyrites, le tout sur une épaisseur pouvant atteindre jusqu'à 1 mètre et $1^{m},20$; dans la zone oxydée il y a transformation en masse serpentineuse, en schistes noirs, sans doute par imprégnation de graphite, parfois scorification véritable ; ces parties altérées forment sur les épontes des masses allongées lenticulaires ayant jusqu'à $1^{m},50$ d'épaisseur au centre et placées surtout au toit ; ces masses sont presque toujours aussi riches que le filon lui-même, et on les enlève en même temps que lui. A mesure qu'on gagne en profondeur, elles diminuent d'importance et de richesse ; dans la zone intacte on n'enlève plus rien sur les épontes, sauf la couche argileuse qui les recouvre parfois et sur laquelle souvent se trouvent de minces pellicules d'or.

Il arrive quelquefois que deux filons sont très voisins l'un de l'autre et que toute la zone de roche encaissante située entre eux est altérée et minéralisée ; il y a alors production d'une région aurifère assez large dans les parties supérieures; on désigne ces régions, à Coolgardie, sous le nom de *formations;* on en rencontre des exemples aux mines Big Blow, Burbank, etc., où les « formations » atteignent jusqu'à 25 et 30 mètres de largeur.

La teneur moyenne des filons de Coolgardie est assez difficile à évaluer, car la richesse est assez irrégulière; on peut l'estimer à une trentaine de grammes par tonne dans les exploitations actuelles.

II. *District de Kalgoorlie.* — Le district aurifère de Kalgoorlie a été découvert en juin 1893, par une Compagnie de chercheurs d'or, dont l'un, Hannan, se hâta d'aller faire sa déclaration de découverte, afin de s'assurer le « claim » de récompense; de sorte que le camp minier qui se forma aussitôt en ce point fut longtemps désigné sous le nom de Hannan's. C'est ce camp qui est devenu la ville actuelle de Kalgoorlie, située à une soixantaine de kilomètres à l'est de Coolgardie.

Après l'épuisement des placers superficiels, qui ont été toujours très riches, mais d'une très faible étendue, dans les champs d'or, à cause du peu d'importance des ravinements, on chercha à Kalgoorlie, comme ailleurs, les filons de quartz aurifère; on en trouva bien, mais ils se montrèrent fort pauvres; bientôt ils furent à peu près abandonnés, et Hannan's jouit d'une fort mauvaise réputation. Or de nouveaux venus, peu au courant des conditions habituelles de gisement du métal précieux, peut-être aussi ne pouvant pas aller plus loin, faute de ressources, se mirent à fouiller dans les trous désertés; ils y trouvèrent bientôt de l'or en abondance, mais pas sur le quartz; le minerai, c'étaient des morceaux de roche schisteuse

décomposée, de couleur jaunâtre, ou rougeâtre, ou brunâtre : les fameux *lodes* de Kalgoorlie étaient découverts.

Ces *lodes* ou *formations*, ou tout simplement ces filons, sont dirigés au Nord-Ouest et à peu près verticaux ; ils sont compris dans une bande de terrain large de 250 à 300 mètres ; on en trouve plusieurs en allant d'un bout à l'autre de cette bande ; parfois des ramifications les réunissent les uns aux autres ; leur épaisseur est très variable, depuis 0^m,80 jusqu'à 15 et 20 mètres ; ils se poursuivent sur de très longues distances : on en connaît qui ont plus de 3 kilomètres de longueur.

Ce sont simplement des zones minéralisées, oxydées, *schistifiées*, de la roche encaissante, laquelle est la diorite ; mais cette roche est, elle aussi, oxydée et schistifiée dans les parties supérieures ; aussi — l'or étant peu visible — ne peut-on distinguer l'un de l'autre le filon riche et la roche stérile. D'ailleurs, cette distinction ne peut se faire, même avec des essais directs, car le filon n'a pas de limites transversales définies ; à partir d'un centre, la teneur diminue progressivement, mais ne s'annule presque jamais ; on s'arrête dans l'exploitation au point où elle devient insuffisante. Parfois, dans le corps du filon, c'est-à-dire dans les parties très aurifères de la roche, on aperçoit quelques minces filets quartzeux, quelques veines plus siliceuses, ou bien on remarque une fissilité très considérable sur une certaine longueur ; ces caractères sont toujours irréguliers, très fugitifs, d'une observation difficile.

La richesse dans ces filons est répartie en *chutes* allongées, inclinées vers le sud et se succédant l'une à l'autre en direction en se recouvrant partiellement. Ces chutes, souvent fort étendues, sont formées elles-mêmes de masses lenticulaires de faibles dimensions, très riches, très voisines les unes des autres, de telle sorte que l'ensemble de la colonne de richesse est d'une très belle

teneur, tandis que l'on constate des variations locales très brusques et très considérables.

Tous ces caractères sont ceux des filons considérés dans la zone supérieure oxydée de la roche encaissante; ils se modifient à mesure qu'on pénètre en profondeur : peu à peu les épontes se manifestent, d'abord par une brusque diminution de la richesse, puis, à la vue, par un plan de contact; en même temps les filets quartzeux ou siliceux se multiplient dans le corps du filon; la puissance utile diminue; enfin, quand on arrive au niveau hydrostatique, on a un filon véritable compris entre deux épontes nettes. Dans cette région, les filons de Kalgoorlie sont encore très peu connus, car on y pénètre à peine; ils semblent formés de quartz chargé de débris schisteux; à la mine Lake View, par exemple, au niveau inférieur on a une sorte de schiste ardoisier très siliceux.

La profondeur à laquelle cesse la zone oxydée supérieure, qui a fourni jusqu'à présent tout l'or de Kalgoorlie, est des plus variables; à la mine Brown Hill, l'oxydation pénètre jusqu'à plus de 120 mètres; à Lake View, elle cesse vers 50 mètres; à Boulder Perseverance, elle ne va même pas à 20 mètres; à Ivanhoe, on a constaté des différences de plus de 30 mètres d'amplitude sur un même filon. Il arrive d'ailleurs qu'on rencontre des blocs non oxydés au milieu de la zone d'oxydation, de même que parfois on rencontre le niveau hydrostatique avant d'être sorti de cette zone.

Les filons de Kalgoorlie sont recoupés et rejetés par des filons de quartz blanc et pur à peu près stériles, dirigés Est-Ouest (Ivanhoe), ou par des bandes d'une roche schisteuse grisâtre (Lake View); ils sont accompagnés parfois de masses schisteuses noirâtres, sans doute imprégnées de graphite.

Les deux caractères tout à fait spéciaux du district de Kalgoorlie sont : 1° la nature et l'aspect du minerai de

la zone oxydée, ainsi que l'état sous lequel se trouve l'or dans cette zone ; 2° la nature des minéraux qui se rencontrent dans la zone intacte.

Nous avons dit que, dans la zone oxydée, rien ne distingue à l'œil nu un morceau de minerai d'un morceau de roche. Voici une analyse qui montre qu'à l'identité d'aspect se joint sans doute l'identité de composition chimique : c'est celle d'un fragment de bon minerai moyen :

SiO^2	48,43
Al^2O^3	1,90
Fe^2O^3	13,29
CaO	9,86
MgO	2,03
CO^2	7,75
S	3,66
Cu	0,35
Alcalis, etc	12,65
	100,00

Dans ce minerai de la zone oxydée, l'or se trouve à l'état libre sous trois formes : en grains plus ou moins volumineux, mais le plus généralement microscopiques ; en pellicules très fines appliquées sur les plans de schistosité de la roche (*paint gold*) ; enfin, d'après les découvertes les plus récentes, en poudre brune amorphe ; en un mot, il est à un état de division extrême.

Dans la zone intacte, les minéraux les plus abondants, au moins dans certaines régions, sont des tellurures ; il y a aussi de la pyrite ordinaire et du mispickel ; parmi les tellurures on a reconnu, paraît-il, la calavérite ; on pense qu'il y a de la sylvanite et de la hessite. Certains filons, celui de Great Boulder par exemple, renferment surtout des sulfures ; d'autres, comme celui de Boulder Perseverance, ne contiennent à peu près que des tellurures.

On a voulu voir dans la présence des tellurures en profondeur, l'explication de l'état de division extrême de l'or et surtout de l'existence de la poudre d'or brune amorphe, dans les parties superficielles. Cependant cet état de division de l'or est le même, que le filon soit ou non très chargé de tellurures dans la zone intacte. L'explication n'est donc pas suffisante ; il est certain que les gisements de Kalgoorlie posent aux géologues un problème fort difficile à résoudre.

La teneur des filons de Kalgoorlie est souvent fort élevée : on peut évaluer à 3 onces au moins, en moyenne, soit 93 grammes par tonne, celle des parties supérieures qu'on exploite actuellement ; la teneur dans la zone intacte est moins connue ; il ne semble pas cependant qu'elle soit inférieure.

III. *District de Menzies.* — Le district de Menzies est situé à 150 kilomètres au nord de Coolgardie, non loin du « lac » Barlee ; il a pris son nom de celui du prospecteur qui le découvrit en 1894. Il renferme un certain nombre de filons parallèles dirigés vers le Nord-Ouest et plongeant vers le Sud-Ouest sous un angle de 40° à 45°. Ces filons présentent, bien plus fréquemment encore que ceux de Coolgardie, la structure en chapelets ; mais quelques-uns, notamment ceux de Lady Shenton et de Friday, sont continus et réguliers sur des longueurs importantes. Dans ces parties régulières, les épontes sont fort nettes, et il n'est pas rare de voir dans la zone intacte le plan de séparation parfaitement poli et recouvert d'une mince pellicule argileuse, ce qui est, au contraire, peu fréquent à Coolgardie.

La zone oxydée s'étend à Menzies jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur. On n'y a pas observé, au contact des filons, de phénomènes d'altération très prononcés ; il y a surtout schistification, et si accentuée que

les filons paraissent interstratifiés dans des schistes ; mais ce caractère s'atténue progressivement à mesure que l'on s'enfonce, et la roche encaissante finit par ne plus se distinguer en rien des roches vertes ordinaires des champs d'or.

Les filons de Menzies sont des filons de quartz; ce quartz est très mélangé de débris de roche qui y sont souvent alignés en feuillets parallèles ; il est de couleur grise et d'éclat gras très prononcé. Très oxydé dans les niveaux supérieurs, il est très minéralisé dans la zone intacte; les minéraux présents sont des sulfures : galène, pyrite, blende, mispickel. La galène est très abondante et se trouve toujours au voisinage de parties enrichies du filon ; on a recueilli à Menzies de magnifiques échantillons de galène en cristaux semés de grains d'or.

Dans la zone oxydée, l'or est à l'état libre finement disséminé dans la masse du quartz et aussi en morceaux visibles ; on le rencontre notamment en amas de minces filaments.

Les parties riches des filons forment des colonnes (chutes) d'assez grande longueur souvent, et inclinées vers le sud.

L'épaisseur moyenne des filons de Menzies est d'environ $0^{m},80$; ils contiennent, surtout dans la zone oxydée supérieure, une assez forte proportion d'oxyde de fer magnétique qui gêne considérablement l'amalgamation ; l'amalgame formé est léger, bulleux, impur et se détache très facilement des plaques, de sorte qu'il se produit des pertes.

La teneur moyenne des minerais exploités à Menzies est de 2 onces à 2 onces et demie, 30 à 45 grammes par tonne; on recueille une proportion remarquable de concentrés ; 3 à 6 p. 100.

IV. *District de Norseman.* — Le district de Norseman se trouve à 220 kilomètres au Sud de Coolgardie, sur la

rive Sud du grand « lac » Cowan, et à moitié chemin du port d'Espérance, sur la baie du même nom, qu'on regarde volontiers dans les champs d'or comme le futur centre des relations avec les colonies de l'Est.

Il y a à Norseman deux sortes de filons aurifères recoupant les roches vertes; ce sont : 1° des filons puissants dirigés N.E.-S.O., inclinés vers le Sud-Est sous un angle de 45° environ; 2° des filons minces, dirigés perpendiculairement aux précédents et à peu près verticaux. Les premiers sont réguliers et continus, mais d'une teneur peu considérable; les seconds sont discontinus, irréguliers, mais beaucoup plus riches.

Le plus connu et le plus important des filons de la première espèce est le filon de Norseman, que l'on a suivi sur plus de 3 kilomètres de longueur. Sa puissance est de 2 mètres. Il est formé de quartz blanc compact, laiteux et opaque, très peu minéralisé, contenant rarement de l'or visible; la teneur moyenne est évaluée à 30 grammes à la tonne. Dans un des filons parallèles appartenant au même système on a observé, en certains points, de la calcite; autour de ces points, la richesse était plus considérable.

Les filons minces qui se trouvent sur une deuxième rangée de collines, en arrière de celles de Norseman, donnent du quartz à éclat gras prononcé, très oxydé et très carié dans les niveaux supérieurs, seuls connus jusqu'à présent, et contenant une forte proportion d'or visible; la teneur s'élève à 4 onces, soit 124 grammes. Sur les plans de clivage du quartz et sur les épontes parfois, on trouve une matière argileuse d'un noir bleuâtre foncé, qui paraît être de l'oxyde de manganèse. Ces filons minces de Norseman sont trop irréguliers pour pouvoir faire vivre une exploitation industrielle.

EXPLOITATION.

L'exploitation des gisements aurifères des champs d'or de Coolgardie entre maintenant à peine dans la période normale. Il en a été là aux débuts comme dans tous les champs d'or du monde ; il s'est agi avant tout d'aller vite, de produire coûte que coûte, surtout de pouvoir faire publier par les journaux des résultats de broyage plus merveilleux les uns que les autres, afin d'utiliser pour les actions toute la puissance du *boom*. Pour cela, tandis que d'un côté on abattait bravement, sans avoir aménagé ni même reconnu le gisement, on choisissait d'un autre côté avec soin le minerai destiné aux premiers broyages, en laissant dédaigneusement sur le carreau tout ce qui paraissait inférieur; les résultats ne se sont pas fait longtemps attendre, et la chute, comme toujours, a été aussi rapide que profonde; à un moment donné, il n'a plus été possible d'extraire une tonne de la mine, et le traitement des minerais en réserve à l'orifice des puits a été bien loin de produire la quantité d'or qu'annonçaient les premiers essais. Toutes les entreprises minières des champs d'or de Coolgardie ont traversé cette crise; quelques-unes, grâce à la richesse exceptionnelle des gisements, s'en sont tirées sans trop d'encombre; la plupart y ont vu sombrer leur crédit; actuellement, celles qui s'appuyaient sur des gîtes de réelle valeur sont en train de se reconstituer; les autres, qui n'avaient vécu quelque temps que par la vertu spéciale du *boom*, ont bien définitivement disparu.

L'exploitation proprement dite des filons dans les champs d'or ne présente aucune particularité ni aucune difficulté spéciales; le quartz est de dureté ordinaire ; la roche, même dans la zone oxydée, se tient bien ; on

n'a pas besoin, en général, de boiser beaucoup, sauf dans les dépilages avant qu'on n'ait remblayé; car on remblaye, au moins partiellement, dans certaines grandes mines, par exemple à Great Boulder. Aussi est-ce dans les usines de traitement qu'il faut plutôt chercher des traits originaux. On en a construit beaucoup et de tous côtés durant la première période d'affolement, malgré des frais considérables; le chemin de fer n'a fonctionné jusqu'à Coolgardie qu'en mars 1896, jusqu'à Kalgoorlie qu'au mois de septembre suivant; et jusqu'au 31 décembre, il est resté la propriété des entrepreneurs qui l'avaient construit pour le compte de l'État; ces entrepreneurs imposaient des tarifs draconiens, car ils avaient pris les travaux à des rabais excessifs et avaient installé la ligne à la diable pour pouvoir faire rouler des trains à leur compte le plus longtemps possible et se dédommager, aux dépens des voyageurs et des marchandises, des faibles bénéfices, ou des pertes, donnés par la construction; le prix de transport de la tonne est donc resté longtemps très élevé. Mais ce n'a pas été un obstacle, et les usines ont surgi, surtout autour de Coolgardie; bien souvent elles n'ont pas pu servir. Voici une mine où aucune venue d'eau ne se manifestait; on se hâte de commander et de faire installer un broyage à sec des plus perfectionnés; à peine est-il prêt qu'il arrive 130 mètres cubes d'eau par jour dans les travaux souterrains. Ailleurs c'est une *formation* puissante qui va pouvoir alimenter une belle batterie de vingt pilons Fraser et Chalmers; la batterie est commandée, installée : mais il n'y a pas une goutte d'eau pour la faire marcher; même des indices sérieux donnent à penser qu'on ne rencontrera aucune venue souterraine. En un troisième point, on monte une amalgamation au tonneau suivie de cyanuration; mais on avait oublié d'observer que le minerai donnait une quantité énorme de boues : tout a été à refaire. Des échecs

de ce genre ont été très nombreux. De même des procédés de traitement plus ou moins compliqués et bizarres ont été montés çà et là, qui ont pareillement échoué. Aujourd'hui on s'en tient à peu près exclusivement aux batteries de pilons ordinaires, venant pour la plupart d'Australie même, des usines d'Adélaïde ou de Melbourne, quelques-unes d'Angleterre, le plus petit nombre d'Amérique. Le traitement après broyage n'est intéressant qu'à Kalgoorlie, où on a affaire à des minerais spéciaux.

Kalgoorlie est le seul district qui soit actuellement en voie normale de production. Son importance est considérable : en 1897, il a fourni à lui seul près de la moitié de l'or produit par l'Australie Occidentale : 9.156^{kg},600 ou 306.000 onces sur un total de 20.992^{kg},500 ou 675.000 onces. Voici un tableau donnant la production des principales mines :

	En 1897 Kilogr. gr.	Depuis l'origine Kilogr. gr.
Great Boulder	2.590,380	5.159,610
Lake View	1.442,800	2.737,990
Ivanhoe	787,600	1.256,560
Hannan's Brown Hill	672,760	942,110
Associated Mines	857,050	257,050
Boulder Perseverance	703,480	756,630

La mine Great Boulder broie depuis le mois d'avril 1895; elle déclare un rendement de 2 onces 11 dwt, soit 79^{gr},25, par tonne métrique de minerai sur les plaques d'amalgmation.

La mine Lake View a été constituée en juin 1896; elle accuse pour les quinze premiers mois d'exercice, c'est-à-dire jusqu'à fin août 1897, les résultats suivants :

	Tonnes métriques.		Kilogr. gr.		Francs.
Minerai broyé.......	14.803,	rendement	1.168,800	valant	3.911.575
Tailings traités......	5.667	—	197,890	—	623.575
Concentrés vendus...	?	....		valeur :	264.350
		Total de la production....			4.799.500
Les dépenses de toutes natures se sont élevées à......					1.578.300
Les bénéfices nets ressortent donc à................					3.221.195
Le capital de l'affaire est de.........................					6.250.000

A Lake View comme à Great Boulder, on emploie des pilons pour broyer le minerai ; on cyanure les tailings et une partie des slimes ; pendant les premiers temps on traitait les concentrés dans des pans d'amalgamation du type Berdan ; on tend aujourd'hui à supprimer l'emploi de l'eau, à sécher les minerais dans des fours et à les cyanurer directement après broyage à sec.

Aux Associated Mines, on emploie pour le broyage des moulins Huntington ; à Ivanhoe, on a des pilons.

Une question des plus importantes à Kalgoorlie est celle du traitement des slimes. Le minerai en donne 50 p. 100 en moyenne; ce sont des boues d'une finesse extrême, mais fort riches, plus riches bien souvent que les concentrés même, à cause de l'état de division où se trouve l'or. On a essayé à Brown Hill et à Lake View de les classer au moyen de caisses de dépôt, de cyanurer ce qu'on recueille et de passer le reste au filtre-presse. Ce système réussit, paraît-il, assez bien, et on arrive à extraire au total 90 p. 100 de la teneur des minerais.

Les concentrés deviennent de plus en plus importants à Kalgoorlie, à mesure qu'on pénètre davantage dans la zone intacte. Jusqu'à présent on les expédie aux usines de fusion d'Adélaïde. Une Compagnie vient de se former récemment pour élever une usine de traitement sur la côte ouest australienne, aux environs de Perth.

PRIX DE REVIENT.

Un certain nombre de causes se réunissent, dans les champs d'or de Coolgardie, pour élever assez fortement le prix de revient à la tonne broyée. Ces causes sont la rareté du combustible, la pénurie de l'eau, la cherté de la main-d'œuvre, l'importance des frais généraux.

1° *Combustible.* — Il n'y a pas d'autre combustible dans les champs d'or que le bois fourni par le *bush*, la forêt australienne. Ce bois est un excellent combustible sans doute; mais on en consomme beaucoup, et la forêt est clairsemée ; aussi le pays se dénude-t-il rapidement autour des centres de production, autour de Kalgoorlie en particulier, si bien que la dépense par tonne traitée augmente constamment; on cite des mines où elle dépasse 7 fr. 50 et 8 francs. Le charbon est fort cher : 55 à 60 francs la tonne; il vient de New South Wales, à l'autre extrémité du continent australien; on n'en connaît pas de gisement ayant quelque valeur en Australie Occidentale. Il baisserait de prix sans doute, si la voie ferrée unissait les champs d'or au port d'Espérance. Mais cela n'arrivera pas de longtemps; Perth et Fremantle n'entendent pas être dépouillées des bénéfices considérables que leur procure le trafic avec la région de Coolgardie, et Perth et Fremantle, c'est le Gouvernement. La dépense en combustible continuera donc à s'élever vraisemblablement jusqu'au moment même où le charbon, dont on finira, il faut l'espérer, par abaisser le prix de transport, pourra entrer en scène.

2° *Eau.* — Nous avons vu qu'il n'y a pas une goutte d'eau à la surface du sol dans les champs d'or. Quelques mines, étant situées non loin d'un « lac », se procurent de l'eau en la pompant des parties imprégnées de ce lac ; ç'a été même le seul moyen de se tirer d'affaire aux

débuts, et la mine Great Boulder, en particulier, y a eu recours pour ses premiers broyages. Mais c'est un moyen coûteux et qui, de plus, n'est pas à la portée de toutes les exploitations.

Heureusement on a rencontré un peu partout, dans les travaux souterrains, des venues d'eau — toujours saumâtre — plus ou moins importantes ; c'est cette eau, qu'on est d'ailleurs toujours obligé d'extraire, qui sert pour le traitement. Il existe des mines dont on a reconnu l'inexploitabilité au point de vue de l'or, mais où on continue quand même les travaux souterrains pour recueillir la plus grande quantité d'eau possible et la vendre aux voisines plus favorisées comme teneur, mais moins aquifères.

Ces venues d'eau souterraines ne semblent pas provenir d'une nappe continue : le sous-sol, exclusivement formé de roches éruptives très peu perméables, ne permet guère d'en admettre l'existence. Il est plus probable qu'il s'agit de réservoirs isolés — deux mines voisines ne donnent pas du tout les mêmes quantités d'eau — d'une capacité assez limitée et dont il faut prévoir l'épuisement, car les provisions accumulées par les siècles ne se reconstituent pas, faute de pluies. En fait, on a remarqué en bien des points que les venues d'eau diminuaient ; et la demande augmente.

On économise autant qu'on le peut ; on est arrivé à ne consommer réellement que 450 à 500 litres par tonne de minerai traitée au moulin ; on espère réduire cette dépense de moitié par l'emploi exclusif de la cyanuration ; mais on ne peut pas supprimer entièrement la consommation.

Le Gouvernement et les particuliers ont songé, comme il était naturel, à recueillir les eaux pluviales en construisant des réservoirs ; mais le pays est si plat qu'il se prête mal à leur établissement ; le terrain est, en outre,

tellement perméable qu'en peu de jours le réservoir est vide, si on n'a pas eu la précaution de le cimenter ou de le revêtir de tôle ondulée ; puis, dans ce climat si chaud et si sec, l'évaporation est intense ; ce que le sol n'a pas absorbé, le soleil le pompe vite ; enfin l'eau devient immédiatement saumâtre par son passage sur le sol.

Ceci ne serait qu'un inconvénient en somme assez peu grave ; on est tout à fait habitué, dans les champs d'or, à distiller l'eau avant de s'en servir, même pour les chaudières ; dans la plupart des cas, elle est partout très chargée de matières solides ; elle en tient jusqu'à 8,50 p. 100 dont 7 p. 100 de chlorures, surtout de magnésium ; elle est d'une grande densité, ce qui contribue, pour une bonne part, à l'entrainement considérable d'or fin dans les slimes et à la difficulté qu'on éprouve à obtenir le dépôt de ceux-ci.

Pour remédier à cette pénurie d'eau, le Gouvernement de l'Australie Occidentale a fait sien un projet grandiose : il s'agit de recueillir les eaux des rivières qui coulent dans les monts Darling, situés le long de la côte, non loin de Perth et de les refouler, au moyen de pompes, jusque dans un réservoir établi, à 500 kilomètres de là, sur le sommet du mont Burgess, près de Coolgardie ; la différence de niveau atteint environ 200 mètres. A partir du réservoir, les eaux seraient distribuées par gravitation aux différents districts. Ce projet semble entrer actuellement dans la période d'exécution. Nous ne pouvons nous empêcher d'être fort sceptique sur la réussite finale. Il nous paraît plus probable qu'on renoncera simplement à exploiter les mines des champs d'or qui ne seront pas d'une teneur élevée, ou bien qu'on installera de vastes usines de traitement dans la zone cotière arrosée de la colonie.

3° *Main-d'œuvre.* — La main-d'œuvre est chère dans les champs d'or ; les ouvriers d'ordinaire sont payés de 90 à 100 francs par semaine ; les ouvriers d'état en proportion.

La semaine de travail comprend cinq jours et demi, soit 44 heures, le samedi après-midi étant consacré au repos. Il n'y a aucune possibilité d'avoir des travailleurs indiens, nègres ou chinois; la législation du pays, identique en cela à celle des autres colonies australiennes, ne permet pas l'importation des Asiatiques ni des gens de couleur. D'ailleurs, la loi spécifie que toute personne travaillant dans les mines d'or à un titre quelconque doit être pourvue d'un permis de mineur (*miner's right*), et elle déclare que ce permis ne peut être délivré qu'aux seuls blancs.

4° *Frais généraux.* — Ils pèsent lourdement sur les entreprises dans les champs d'or. La vie y est chère, même aujourd'hui, malgré l'existence des voies ferrées, car il faut tout faire venir non seulement de la côte, mais du dehors; faute d'eau, le sol de la région aurifère ne produit rien, et dans la région côtière les cultures sont très peu développées. On vit surtout de conserves. Puis le séjour dans les districts miniers n'a rien d'agréable: la chaleur est excessive pendant neuf mois de l'année, la poussière aveuglante.

Pour toutes ces raisons, assez irréductibles, comme on peut s'en rendre compte, le prix de revient à la tonne de minerai traitée est très élevé dans les champs d'or de Coolgardie; il est difficile de l'évaluer à moins de 50 à 60 francs, dont 20 à 25 pour l'extraction et autant pour le traitement. Dans la période de début, on laissait résolument de côté tous les minerais qui ne contenaient pas plus d'une once d'or, c'est-à-dire qui ne valaient pas au moins 100 francs la tonne. Aujourd'hui on traite ces minerais-là; mais on ne pourrait sans doute traiter avec bénéfices ceux qui ne valent que 50 francs; la limite inférieure de teneur exploitable peut être fixée assez exactement, nous semble-t-il, à 20 grammes d'or à la tonne.

LÉGISLATION.

Il nous reste à dire quelques mots sur la législation des mines en Australie Occidentale.

Cette législation est, comme dans les pays de langue anglaise en général, très simple : c'est la consécration du droit du premier occupant. Les concessions ou *leases* sont accordées pour une période de vingt et un ans ; elles sont soumises à certaines conditions de longueur et de largeur par rapport au filon et ne peuvent avoir plus de 24 acres, soit 96 hectares de superficie. Chacun peut prendre un nombre indéfini de « leases », pourvu qu'il paie la redevance à l'État, laquelle est très faible d'ailleurs ; mais, afin d'empêcher l'accaparement des terrains par des Compagnies puissantes, la loi impose des conditions très dures et très sévères pour la conservation de ces « leases ». Ces conditions sont les conditions de travail. Il faut au moins un ouvrier par 3 acres : cela représente déjà une dépense obligatoire de 70 à 75 francs par semaine et par hectare ; en outre, chaque « lease » doit être travaillée pour son compte, c'est-à-dire qu'une Société possédant, par exemple, 10 « leases » contiguës ne peut pas, sauf permission spéciale, difficilement accordée, toujours temporaire et révocable, de concentration de travail, employer où elle veut les 80 ouvriers que la loi l'oblige d'avoir : il faut qu'elle en mette huit sur chaque « lease ».

Pour assurer le respect de ces prescriptions, le législateur de l'Australie occidentale ne s'est pas mis en peine de créer un corps d'inspecteurs : il a tout simplement remis la charge de faire respecter la loi au public lui-même, en stipulant la peine de la « forfeiture », c'est-à-dire l'annulation pure et simple d'une « lease » et son

adjudication immédiate au dénonciateur pour toute infraction aux conditions de travail. Si pendant trois jours consécutifs une concession n'a pas été travaillée par le nombre minimum d'ouvriers ou si l'un de ces ouvriers n'est pas pourvu de son *miner's right*, l'annulation de la dite concession peut être prononcée : et en fait, l'annulation était toujours prononcée aux débuts, et la « lease » concédée au dénonciateur, quand l'enquête établissait la réalité de l'infraction.

Ces mesures draconiennes étaient nécessaires pour prévenir les accaparements dans la période de folie connue sous le nom de *boom ;* elles avaient cependant des inconvénients sérieux, dont le moindre n'était pas d'avoir fait naître une industrie spéciale, celle du *jumping-out*. Les *jumpers* étaient des gens qui n'avaient d'autre profession que de surveiller les « leases », surtout celles réputées riches et de dénoncer aussitôt la plus légère infraction à la loi qu'ils pouvaient relever; ils travaillaient quelquefois pour eux-mêmes, souvent pour d'autres, encore plus souvent sans doute pour faire chanter les propriétaires qui tenaient à leurs concessions.

Aujourd'hui la fièvre est tombée : l'accaparement n'est plus autant à craindre ; la loi est sans doute moins rigoureusement appliquée ; d'ailleurs un projet vient d'être déposé par le Gouvernement, qui atténue la sévérité des dispositions primitives. D'abord le nombre minimum d'ouvriers à entretenir par « lease » est abaissé de moitié ; puis il est prévu des amendes, au lieu de l'annulation de la concession, lorsqu'il y aura inobservation des conditions de travail; enfin l'exemption totale ou partielle de ces conditions, qui était jusqu'à présent laissée à la discrétion du magistrat chargé de faire appliquer la loi, le Warden du district, lequel se montrait extrêmement difficile, et avec raison, pour l'accorder, est prévue dans un certain nombre de cas : insuffisance de capital après que des

dépenses convenables ont été faites pour développer la concession; venues d'eau excessives dans les travaux souterrains; absence d'eau ou manque de main-d'œuvre; absence forcée du propriétaire; nécessité de modifier les installations extérieures, etc.; l'exemption pourra être totale et de trois mois pour une « lease » de 24 acres sur laquelle on aura dépensé déjà 5.000 livres; pour une dépense plus forte, elle sera étendue progressivement jusqu'à une année entière. Enfin la faculté d'interprétation et d'appréciation laissée aux Wardens n'est pas diminuée, bien au contraire; et ces magistrats, revêtus en fait des pouvoirs les plus étendus, savent, sans aucun doute, appliquer aujourd'hui la loi avec autant de modération qu'ils y mettaient de sévérité et de raideur, avec juste raison, dans les temps de fièvre des débuts.

DONNÉES STATISTIQUES.

Jusqu'à la fin de l'année 1896, il avait été fondé 538 Compagnies pour exploiter des mines d'or en Australie Occidentale : sur ce nombre, 35 avaient disparu à cette date; des 503 restantes, 50 avaient subi une réorganisation. Le capital total engagé dans ces entreprises s'élevait à 1.500 millions de francs en chiffres ronds, dont 1.100 à 1.200 millions réellement versés.

Trente-trois Compagnies seulement avaient, à la même date, distribué des dividendes : sur ce nombre, 13 étaient des Compagnies de terrains et de lancement tirant leurs bénéfices de la vente des terres et des émissions d'actions. Les 20 Compagnies minières avaient distribué 20 millions de francs de dividendes, sur lesquels :

Bailey's Reward	avait	distribué ...	3.300.000	francs
Great Boulder	—	— ...	8.500.000	—
Lake View	—	— ...	3.200.000	—

(la mine Bailey's Reward est fermée depuis fin 1895); restent donc 5 millions de dividende répartis par les 17 autres Compagnies.

La production totale de l'Australie Occidentale a été :

En 1895, de	7.184^{kg},100	d'or valant	22	millions	de francs
1896	8.747,280	—	27	—	—
1897	20.992,500	—	60	—	—

Pour les six premiers mois de 1898, on accuse une production de 14.638^{kg},780, valant en gros 44 millions de francs. Il est donc assez probable que la production de l'année approchera de 100 millions de francs, si elle ne dépasse pas ce chiffre. Là-dessus la part des champs d'or de Coolgardie peut être estimée aux quatre cinquièmes au moins; le district de Kalgoorlie fournit à lui seul près de la moitié de la récolte totale; les deux mines de Lake View et de Great Boulder y marchent sur le pied de 311 à 373 kilogrammes chacune par mois.

Paris, novembre 1898.

COMMISSION DU GRISOU

RAPPORT

SUR

DES EXPÉRIENCES RELATIVES

A LA

DÉTONATION DES GRISOUNITES FAVIER

Par M. SARRAU, Inspecteur Général des poudres et salpêtres,
Membre de l'Institut.

La Commission du grisou a précédemment donné son avis sur des accidents survenus par suite d'*explosion retardée* de cartouches de grisounite et un rapport à ce sujet a été inséré aux *Annales des Mines*. La Commission, après en avoir délibéré, a reconnu que les circonstances dans lesquelles ces accidents s'étaient produits n'étaient pas assez élucidées pour qu'il fût possible d'indiquer avec précision la cause de ces accidents, ni de formuler les mesures propres à en éviter le retour. Considérant, d'autre part, que les conséquences, peu graves, de ces accidents fort rares eussent été évitées en revenant moins promptement sur les coups de mine après la mise de feu et qu'il ne saurait convenir de renoncer à l'emploi des grisounites pour des inconvénients encore aussi aléatoires, la Commission a été d'avis qu'il y avait « simplement lieu de signaler les faits en question aux exploitants de mines en les engageant à informer avec détails les Ingénieurs des Mines de tous les faits semblables, même non suivis d'accidents de personne, qui

seraient parvenus dans le passé, ou parviendraient dans l'avenir à leur connaissance, de façon que les services locaux en fassent l'objet de rapports à M. le Ministre des travaux publics » (28 avril 1896).

A la suite d'un nouvel accident, survenu le 9 novembre 1896 aux mines de Plat-de-Gier et paraissant être de même nature que les précédents, la Commission s'est livrée à un nouvel examen de la question; mais elle a été unanime à penser que les circonstances de ce nouvel accident étaient encore trop obscures pour qu'il fût à propos d'en faire l'objet d'une communication aux Ingénieurs des Mines et pour qu'il fût possible d'indiquer avec certitude les précautions à prendre. Elle a été d'avis qu'avant de formuler une proposition ferme à ce sujet il y avait lieu de faire des expériences sur le mode de décomposition des grisounites et d'en attendre les résultats.

Ces expériences ont été faites, avec l'autorisation de M. le Ministre de la Guerre, à la Poudrerie d'Esquerdes, par les soins des Ingénieurs de cet établissement (*). Le but de ces expériences était de rechercher s'il était possible de réaliser expérimentalement, sur les grisounites Favier, le mode de fonctionnement explosif qui, suivant l'hypothèse consignée dans un rapport présenté à la Commission du grisou (**) et inséré aux *Annales des Mines* (***), paraissait susceptible d'expliquer les explosions, dites *retardées*, auxquelles les accidents ont été attribués.

L'explication dont il s'agit consistait à supposer :

1° Que, par suite de défectuosités de l'amorce ou de l'amorçage, une charge de grisounite pouvait s'enflammer et fuser lentement, dans le trou de mine, suivant un mode de décomposition comparable à celui qui se produit lorsque les dynamites ou le coton-poudre comprimé brûlent

(*) MM Billardon, Directeur ; Patart, Ingénieur.
(**) Séance du 26 mars 1896.
(***) Livraison du juillet 1896.

à l'air libre par suite d'une inflammation directe ou d'un raté de détonation;

2° Que, par suite de circonstances amenant éventuellement un accroissement de pression, cette décomposition fusante pouvait se transformer subitement en décomposition explosive.

Les expériences d'Esquerdes ont été dirigées de manière à examiner successivement ces deux points.

On rappellera d'abord que les grisounites livrées par la Société française des poudres de sûreté sont de deux espèces :

1° La *grisounite-couche*, composée de 4,5 p. 100 de trinitronaphtaline et de 95,5 p. 100 de nitrate d'ammoniaque ;

2° La *grisounite-roche*, composée de 8,5 p. 100 de dinitronaphtaline et 91,5 p. 100 de nitrate d'ammoniaque.

Les cartouches livrées à la consommation sont constituées d'une façon différente pour ces deux explosifs.

La grisounite-couche qui, par suite de la forte proportion de nitrate d'ammoniaque qu'elle renferme, est d'une sensibilité médiocre à l'action du fulminate, est simplement tassée, à l'aide d'une boudineuse, dans des cylindres en carton léger.

Les cartouches de grisounite-roche sont formées d'une partie, égale aux $\frac{4}{5}$ environ de la charge, comprimée en forme de cylindre creux et renfermant le reste de la charge à l'état pulvérulent; la partie pulvérulente reçoit l'action du détonateur et la transmet, amplifiée, à la partie comprimée.

Les expériences d'Esquerdes ont, en outre, utilisé, ainsi qu'il sera dit plus loin, des cartouches spéciales, aux dosages couche et roche, formées, comme les cartouches ordinaires de grisounite-roche, d'une partie pul-

vérulente et d'une partie comprimée, avec cette différence que la densité de la partie comprimée, ordinairement égale à 1,15, avait été augmentée jusqu'à 1,60 environ, c'est-à-dire portée au maximum que peuvent fournir les appareils de compression.

En ce qui concerne la décomposition fusante des grisounites, on savait déjà, par deux expériences antérieures, que l'inflammation de ces explosifs à l'air libre était particulièrement difficile. Une expérience, faite en novembre 1892, par la Commission des substances explosives a montré que, « si l'on essaye d'allumer une cartouche de grisounite (couche ou roche) avec un fer rouge, la paraffine et l'enveloppe de papier prennent feu au contact du fer ; la matière même commence à brûler très lentement, mais ne tarde pas à s'éteindre ». De plus, « des cartouches projetées dans un foyer en combustion vive ont brûlé sans produire de détonation, même lorsque les cartouches étaient enfermées dans une caisse en bois » (*).

Des expériences similaires, faites à Esquerdes, ont montré que, placées dans un feu vif, les cartouches brûlent avec une flamme claire, mais que, si on les retire, elles ne tardent pas à s'éteindre. L'expérience a été répétée jusqu'à trois fois avec la même cartouche, qu'on plaçait dans le feu, que l'on retirait dès que son inflammation était vive et que l'on replaçait dans le feu dès qu'elle s'était éteinte. Dans l'inflammation ainsi produite on n'observa aucune production de vapeur nitreuse.

Ces essais, tendant à produire la décomposition fusante sous de faibles pressions, par l'action d'une température extérieure élevée, ont été repris, sous une autre forme,

(*) Commission des substances explosives, — Rapport n° 78, 9 février 1893.

en chauffant la matière des grisounites dans une capsule en platine sur la flamme d'une forte lampe à alcool. Elle fond alors, puis dégage des vapeurs blanches sans trace de vapeurs nitreuses ; les vapeurs blanches ayant disparu, il reste, sous forme de points noirs, des résidus de naphtaline di ou trinitrée qui se décomposent encore plus lentement et sans flamme. Si dans cette expérience on supprime la source de chaleur, alors que la matière est en pleine décomposition, la réaction s'arrête presque instantanément.

Une expérience analogue a été faite, sous bourrage léger, en plaçant au fond fermé d'un tube de cuivre (4 centimètres de diamètre et 50 centimètres de longueur) 40 grammes de matière de grisounite-roche et en complétant le remplissage du tube avec du sable sec. Ce tube étant mis dans un feu vif, après quatre à cinq minutes, le sable déborde par l'orifice supérieur, des fumées blanches se dégagent jusqu'à la fin de la réaction. Le résultat est le même, si l'on augmente la résistance du bourrage en substituant au sable de l'argile plastique fortement tassée.

Ces diverses expériences montrent, d'une part, la difficulté de provoquer la décomposition fusante des grisounites et, d'autre part, la nécessité, pour l'entretenir, de maintenir la permanence de la cause qui l'a produite.

Cherchant ensuite à imiter les conditions mêmes de l'emploi usuel dans les trous de mine, les Ingénieurs d'Esquerdes ont essayé de produire la réaction fusante des grisounites dans l'intérieur d'un tube, sans détonateur, en employant la poudre noire comme amorce, dans des conditions telles que l'on doit même admettre que la décomposition fusante, si elle s'était produite, devait se transformer en réaction explosive.

A cet effet, dans le tube mentionné plus haut, a été

placée une cartouche de grisounite-roche où le quart de la charge pulvérulente, soit 3 grammes, avait été remplacé par 3 grammes de poudre de chasse extra-fine. Une mèche de mise de feu, ayant une extrémité hors du tube, plongeait dans la poudre ; le tout était entouré de sable achevant de remplir le tube et formant bourrage ; enfin, le tube était fermé à ses extrémités par des brides, contre-brides et boulons. Le feu ayant été mis au cordeau, aucun bruit ne s'est produit et, deux minutes environ s'étant écoulées, on a déboulonné le tube, et la cartouche a été trouvée inaltérée ; l'amorce de poudre noire était entièrement brûlée, mais la surface de l'explosif en contact avec elle était à peine noircie et la décomposition fusante ne s'était pas amorcée. Cet essai, répété deux fois, a donné deux fois le même résultat.

Les Ingénieurs d'Esquerdes ont ensuite recherché si la décomposition fusante, qu'ils n'avaient pas réalisée en employant la poudre noire comme agent d'inflammation, ne pourrait pas être obtenue par l'emploi de détonateurs dans des conditions particulières produisant ce que l'on appelle un *raté de détonation*. Ils ont fait varier, dans ce but, d'une façon méthodique, la puissance du détonateur de manière à déterminer une limite à partir de laquelle se produise régulièrement le raté de détonation de la matière pulvérulente, et ils ont employé à cet effet quatre types de détonateurs (A, B, C, D) dont les trois premiers ont été fournis spécialement par la Société française des Munitions. Ces détonateurs étaient constitués comme il suit :

A) $0^{gr},25$ de fulminate pur, avec opercule, c'est-à-dire le détonateur usuel ;

B) $0^{gr},25$ de fulminate pur, sans opercule, compression faible ;

C) $0^{gr},25$ d'un mélange de fulminate et de chlorate de potasse, sans opercule ;

D) $0^{gr},40$ d'une composition détonante spéciale, avec petit opercule.

Une série d'expériences préalables, dont les résultats furent très réguliers, avait conduit d'abord aux conclusions suivantes : la cartouche étant simplement posée dans un trou, de sa hauteur et de son diamètre, fait dans l'argile grasse du sol naturel, le détonateur A produit à tout coup la détonation de la matière pulvérulenle de grisounite-couche ou de grisounite-roche ;

le détonateur B produit, une fois sur deux, la détonation de la matière de grisounite-roche et n'entraîne pas celle de la grisounite-couche ;

les détonateurs C et D produisent régulièrement le raté de détonation avec les deux espèces de grisounite.

A la suite de ces constatations, l'expérience suivante a été faite : une cartouche de grisounite-roche a été placée dans le tube mentionné plus haut, avec cordeau de mise de feu armé d'un détonateur D plongeant dans la matière pulvérulente ; le bourrage intérieur ayant été fait au sable, comme il a été dit précédemment, et la fermeture du tube ayant été opérée avec les brides et boulons, on a déterminé l'explosion du détonateur. L'appareil étant ensuite ouvert, on a constaté que la partie de la cartouche correspondant au logement du détonateur était brisée, mais qu'aucune trace d'inflammation n'existait sur le reste de la cartouche, notamment sur la matière pulvérulente.

Le résultat a été le même dans d'autres expériences où la matière pulvérulente était partiellement remplacée par de la poudre noire, dans laquelle plongeait le détonateur ; la poudre seule était enflammée.

L'objet de toutes ces expériences était, comme on l'a déjà dit, de rechercher s'il était possible de provoquer, par les moyens habituels, l'inflammation des matières pulvérulentes, et d'amorcer ainsi leur décomposition fusante

persistante. Une autre question a été examinée ; en supposant que la matière pulvérulente détone, mais que cette détonation ne se propage pas dans la matière comprimée, celle-ci ne peut-elle pas s'enflammer de manière à présenter ensuite la décomposition fusante ?

La sensibilité à la détonation d'une grisounite comprimée variant continuellement avec le degré de compression, les expérimentateurs d'Esquerdes ont cherché à avoir des matières parfaitement rebelles à la détonation, et c'est dans ce but qu'ils ont demandé à la Société française des Poudres de sûreté les cartouches spéciales qui ont été précédemment signalées et dans lesquelles la densité de la partie comprimée, qui est normalement 1,15, a été portée à 1,60. Les matières ainsi comprimées se sont en effet montrées inaptes à détoner, mais leur mise en expériences a présenté des difficultés particulières. L'intensité de la détonation de la matière pulvérulente est telle en effet qu'il est difficile de réaliser l'explosion dans une enceinte fermée où l'on puisse recueillir, pour les examiner, les fragments de matière qui n'ont pas détoné. On y est arrivé de la façon suivante.

Sur une plaque en acier chromé de 3 centimètres d'épaisseur, on a placé l'un sur l'autre deux blocs cylindriques de plomb de 10 centimètres d'épaisseur et de 25 centimètres de diamètre, percés concentriquement d'un trou cylindrique de 35 millimètres de diamètre. La cartouche étant placée au fond, on a fait détoner la matière pulvérulente au moyen d'un détonateur convenable, et on a recueilli dans le fond les fragments de l'explosif qui ont échappé à la détonation et n'ont pas été projetés à l'extérieur. On a toujours constaté que ces fragments étaient absolument inaltérés et qu'aucune trace de combustion ne pouvait être observée à leur surface.

On arrive aux mêmes conclusions, si l'on produit l'explosion dans un trou de mine ordinaire ; mais les frag-

ments sont alors plus difficiles à recueillir, et comme, d'autre part, ils sont souillés par la terre, leur examen est moins facile.

Il résulte de ce qui précède qu'avec les moyens variés qui ont été employés, les ingénieurs d'Esquerdes ne sont jamais arrivés à produire dans l'explosif, à l'air libre ou sous bourrage, une décomposition fusante se continuant d'elle-même en l'absence de tout agent étranger. On n'a pu la réaliser que sous l'influence persistante de la chaleur, et elle cesse quand cette influence est supprimée. Cette circonstance restreignait beaucoup le champ des expériences destinées à produire la transformation, en réaction explosive, de cette décomposition si difficile à obtenir. Les ingénieurs d'Esquerdes se sont bornés à faire l'expérience suivante, qui n'a que la valeur d'une simple indication. Une cartouche de grisounite-roche, ayant été enflammée dans un feu vif, a été rapidement saisie et enfouie, tout enflammée, dans un tas de sable. Aucune projection ne s'est produite, aucune fumée n'a été aperçue, et la cartouche a été retrouvée, encore très chaude, mais éteinte.

Tout en reconnaissant, dans le rapport qui résume ces expériences, que la seule explication des prétendus retards de détonation des grisounites paraît être celle qui repose sur l'hypothèse d'une décomposition fusante préalable, M. l'ingénieur Patart estime que, précisément, les explosifs dont il s'agit se sont montrés, dans ses expériences, particulièrement rebelles à ce mode spécial de décomposition, « même quand on fait usage de moyens notablement plus énergiques et plus efficaces que ceux auxquels on peut assimiler les procédés d'amorçage industriellement employés ».

« Dès lors, ajoute-t-il, il n'apparaît pas que les accidents constatés puissent être attribués à des propriétés

particulières des explosifs employés, mais à des circonstances autres, dont les opérateurs se sont peut-être incomplètement rendu compte, susceptibles de se produire avec tout autre explosif plus naturellement encore qu'avec ceux dont il s'agit. »

Dans une Note *sur les Explosions tardives*, récemment insérée dans *le Génie civil*, M. Schmerber, Ingénieur des Arts et Manufactures, a fait connaître les résultats d'expériences qui donnent sur la question d'intéressantes indications. Il a cherché, dit-il, par des ratés de détonation, « à provoquer la décomposition fusante, afin de voir si elle se transforme, à un moment donné, en réaction explosive ».

« On pouvait, ajoute-t-il, obtenir ce résultat avec les grisounites usuelles, soit en faisant usage d'amorces plus faibles, soit en augmentant la compression des cartouches. L'auteur a renoncé à ces deux moyens, parce que, d'une part, il lui « a été impossible de se procurer, dans le commerce, des amorces correspondant au point limite auquel la décomposition instantanée pouvait être remplacée par la décomposition lente », et que, d'autre part, l'on n'obtenait, par la compression, que « des résultats trop incertains, dus à des différences très faibles dans le degré de compression de la poudre, ces variations, presque impossibles à éviter, suffisant souvent pour passer de détonations très violentes aux ratés complets. »

L'auteur a donc employé un troisième moyen consistant à augmenter la proportion de nitrate d'ammoniaque, de manière à constituer des mélanges moins sensibles et susceptibles d'être seulement enflammés, sans détoner, par les amorces usuelles. Il a formé ainsi une série de 15 poudres ayant une proportion de trinitronaphtaline variant de 4,50 à 1,00 p. 100 et, en employant les amorces du commerce dont les charges en fulminate sont crois-

santes à partir de $0^{gr},25$, il a fait une série d'essais préliminaires, afin de fixer, pour chaque poudre, la charge limite de fulminate au-dessous de laquelle la détonation cesse de se produire.

Dans cette recherche, qui s'est faite par tâtonnements, l'auteur s'est servi d'un tube en fer, de 30 millimètres de diamètre et $0^{m},50$ de longueur, figurant un trou de mine. On introduisait la charge au fond du tube, on bourrait énergiquement, et l'on faisait détoner l'amorce de fulminate soit à la mèche, soit à l'électricité. Plus de 130 essais ont été effectués, et « aucun de ces essais n'a donné d'explosion tardive, bien que tous ceux qui ont donné des ratés ou des détonations incomplètes se soient trouvés dans les conditions voulues pour produire la décomposition lente ».

Des essais définitifs ont été faits, avec bourrage nul ou léger, soit avec des cartouches à l'air libre, soit avec des charges recouvertes d'une couche de sable, soit dans des tubes en fer sans aucun bourrage. D'autres essais ont été faits, sous bourrage énergique, dans des tubes fermés suivant un dispositif similaire de celui qui a été réalisé dans les expériences d'Esquerdes. Dans tous ces essais, fort nombreux, on a employé comme excitateurs soit les amorces fulminantes limites, soit de petites charges de poudre noire ou de coton-poudre. Dans quelques-unes de ces expériences, le tube était préalablement échauffé par la flamme de l'alcool contenu dans un petit réservoir circulaire extérieur; enfin, pour se rapprocher des conditions de la mine, l'auteur a imaginé d'entourer complètement la cartouche, dans l'intérieur du tube, d'une garniture de charbon comprimé, en bourrant en outre avec du charbon pulvérulent. Il a obtenu, dans ces conditions variées, des ratés, des détonations complètes ou partielles, mais jamais de détonation tardive.

L'auteur signale seulement que, dans quelques cas, il

semble qu'il y ait eu un commencement de décomposition fusante ; mais celle-ci, ajoute-t-il, « ne s'est jamais transformée en décomposition explosive, bien que les conditions dans lesquelles le commencement de combustion de ces cartouches s'est produit aient été des plus favorables à la transformation de la décomposition lente en phénomène explosif ».

En résumé, il résulte de cet exposé que de nombreuses expériences ont été faites, dans les conditions les plus variées, sans que jamais aucun phénomène se soit produit en imitation d'*explosions tardives* et sans qu'aucune confirmation ait été apportée à l'hypothèse proposée pour en fournir l'explication. Il semble que l'on puisse en conclure, avec une probabilité voisine de la certitude, que le fonctionnement explosif des grisounites ne présente aucune irconstance appréciable qui conduise à en interdire ou restreindre l'emploi.

Il conviendrait toutefois de rappeler aux exploitants que les ouvriers chargés de mettre en œuvre les grisounites oivent, dès qu'ils ont quelque indice d'une explosion incomplète, laisser s'écouler quelques minutes avant de visiter le trou et rester abrités pendant ce temps.

18 janvier 1899.

E. SARRAU.

Adopté par la Commission du grisou dans sa séance du 18 janvier 1899.

Le Secrétaire,
L. CHESNEAU.

Le Président,
HATON DE LA GOUPILLIÈRE.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ITALIE EN 1897.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEUR	PRIX moyen	NOMBRE d'ouvriers
1° Production des mines.				
	tonnes	francs	fr. c.	
Minerai de fer	200.709	2.860.511	14,26	1.313
— de manganèse	1.634	75.040	45,92	70
— ferro-manganésifère	21.262	170.096	8,00	181
— de cuivre	93.377	2.156.146	23,09	1.486
— de zinc	122.214	8.280.327	67,75	11.294
— de plomb	36.200	5.042.625	139,30	
— de plomb, zinc et cuivre	660	23.200	35,15	140
— d'argent	405	428.260	1.057,43	660
— d'or	10.723	890.048	83,00	695
— d'antimoine	2.150	174.320	80,61	174
— de mercure	20.659	788.910	38,19	427
— d'arsenic	34	3.400	100,00	6
Pyrite de fer et de cuivre	58.320	780.138	13,38	790
Combustibles minéraux	314.222	2.335.557	7,43	2.211
Minerai de soufre	3.314.051	37.310.255	11,22	30.217
Sel gemme	19.801	272.018	13,74	337
Sel de sources	11.725	315.500	26,91	
Pétrole brut	1.932	492.282	255,33	414
Gaz hydrocarburé	298.069 m^3	17.861	0,06	
Eaux minérales	28.680 t-m	351.336	12,25	
Asphalte et bitume	55.339	948.273	17,13	805
Alunite	6.500	32.500	5,00	86
Acide borique	2.704	865.280	320,00	345
Graphite	5.650	56.500	10,00	81
Totaux	»	64.670.383	»	51.732
2° Production des usines minéralurgiques.				
	tonnes	francs	fr. c.	
Fonte	8.393	908.814	108,28	565
Fonte de 2e fusion	9.256	1.932.451	208,78	
Fer	149.944	35.884.756	239,32	
Acier	63.940	20.784.249	325,06	12.684
Tôles étamées	6.500	2.730.000	420,00	
Cuivre	2.980	3.749.768	1.258,31	2.148 (*)
Plomb	22.407	7.314.547	326,44	
Argent	45.313 kg	4.588.352	101,21	996
Or	316 kg	1.094.310	3.463,00	
Antimoine	404 t-m	285.360	706,33	38
Mercure	192	960.000	5.000,00	105
Agglomérés de charbon minéral	549.050	13.841.750	25,21	502
Agglomérés de charbon végétal	17.950	1.207.500	67,27	219
Soufre brut	496.658	44.978.237	90,56	6.219
Soufre raffiné	85.872	9.373.211	109,15	435
Soufre en poudre	79.178	7.707.548	97,34	1.222
Sel marin	429.253	4.428.187	10,32	3.148
Asphalte et bitume	18.644	445.626	23,90	168
Pétrole, benzine, etc	3.392	1.397.667	412,05	90
Gaz d'éclairage — Gaz	179.157.912 m^3	35.031.259	0,195	
Gaz d'éclairage — Produits secondaires — coke	430.617 t-m	13.346.426	30,99	
Gaz d'éclairage — Produits secondaires — goudron	25.660	841.009	32,77	4.187
Gaz d'éclairage — Produits secondaires — eaux ammoniacales	37.371	353.518	9,45	
Gaz d'éclairage — Produits secondaires — sulfate d'ammoniaque	382	112.810	295,31	
Totaux	»	213.297.355	»	32.726

(*) Y compris les ouvriers occupés au laminage ou à la façon de 8.545 tonnes de cuivre, laiton ou autres alliages, d'une valeur de 15.297.730 francs.

(*Extrait de la* Rivista del servizio minerario nel 1897.)

L'INDUSTRIE MINIÈRE DE LA PROVINCE DE MENDOZA (RÉPUBLIQUE ARGENTINE) (*).

La ville de Mendoza, capitale de la province du même nom, se trouve au pied des Andes, sur la ligne de chemin de fer Est-Ouest de Buenos-Ayres à Valparaiso, et doit son importance à cette situation privilégiée. La province de Mendoza renferme quelques gisements métallifères, généralement inexploités actuellement, à cause de leur situation à une altitude élevée et des difficultés de communication : on cite notamment les galènes argentifères avec pyrites aurifères de la Cortaderita, les minerais argentifères du Paramillo de Uspallata, les galènes argentifères de la Pintada, les chalcopyrites et cuivres gris argentifères de las Choicas. Il existe, en outre, des couches de lignite et de houille. Un rapport récent de M. Walker en donne une description détaillée, dont nous extrayons seulement de brèves indications, pouvant présenter un intérêt plus général.

Gîte de la Cortaderita. — Ce gîte est situé sur le flanc Est de la Sierra de Uspallata, qui continue celle de Tontal, à 2.450 mètres d'altitude et à environ 55 kilomètres de la station d'Uspallata, ou 115 kilomètres de Mendoza. La région est principalement formée d'andésites pyroxéniques, avec dolérites et serpentines, recoupant des terrains rapportés au rhétien. Ces roches sont traversées par une série de filons E.-O., sur lesquels ont été faits quelques travaux de mines insignifiants. Les minerais superficiels, seuls attaqués jusqu'ici, comprennent cérusite, chlorobromure d'argent, parfois chloroantimoniure, galène, gypse, sidérose et hématite : c'est-à-dire les produits d'altération probable d'un mélange plus profond de galène argentifère et pyrite; la galène est parfois assez riche en argent; parfois l'or natif apparaît comme un résidu de la pyrite; les filons semblent être souvent de simples fissures de retrait de l'andésite.

Gîte du Paramillo de Uspallata. — Ce gîte est situé à 18 kilomètres au sud du précédent, au sud de l'Anticordillère de Tontal, à 40 kilomètres de Uspallata et à 2.862 mètres d'altitude. La

(*) Ces renseignements sont extraits d'un rapport officiel de M. Benito Walker, pour une exposition de 1898. Voir, en outre : J. Avé-Lallemant, *El paramillo de Uspallata*.

région est formée de grès et argiles schisteuses, plus ou moins bitumineuses, du rhétien, avec interstratifications de mélaphyres. Les filons recoupent ces deux terrains et comprennent: galène, blende, pyrite et chalcopyrite, tétraédrite antimonieuse, bromures et iodures d'argent, avec gangue de fer spathique, plus ou moins décomposé en hématite et de quartz; l'épaisseur moyenne varie entre $0^{m},50$ et 1 mètre. Des travaux ont été faits sur ces filons, depuis deux cent cinquante ans, par les Espagnols; au dernier siècle également, de grandes excavations y ont été pratiquées par des captifs Araucans; les minerais étaient transportés au Chili à dos de mule; mais on s'est arrêté alors, faute de moyens d'épuisement suffisants, au niveau hydrostatique. En 1885, une société a repris les travaux, installé des fours de fusion, de concentration, etc.; mais les opérations ont été interrompues au début de 1898.

Comme type de minerais, M. Walker décrit le filon Rosario (mine Gobernador), formé de galène à grain fin, presque sans mélange de blende, avec des noyaux de tétraédrite antimonieuse, de chalcopyrite et de pyrite et une gangue de sidérose. La galène y renferme $3^{kg},200$ d'argent et 300 à 320 kilogrammes de plomb aux 1.000 kilogrammes; au filon San-Francisco (Socabon del Sauce), on a constaté un phénomène curieux: après être déjà entré dans la zone des métaux sulfurés, à 75 mètres de l'affleurement, on a retrouvé de nouveau une zone altérée, comme les parties superficielles, avec bromures et iodures d'argent dans de l'hématite.

Gite de la Pintada (*département du 25-Mai*). — Ce gîte, également connu sous le nom de « Piedras de Afilar », est à 36 kilomètres à l'ouest de la ville de San Rafael (près de laquelle se trouvent des houilles carbonifères) et à 1.088 mètres d'altitude. Une tentative d'exploitation malheureuse, pendant laquelle on a construit une usine somptueuse, a eu lieu de 1877 à 1880. Des filons de galène argentifère, pyrite de fer et pyrite de cuivre arsénicale, avec argent sulfuré, recoupent des trachytes et des grauwackes, schistes, calcaires dolomitiques, etc.

Or du Nord et du Sud (*département de las Heras*). — A 80 kilomètres de Mendoza, entre Mendoza et Uspallata, et 2.920 mètres d'altitude, on a essayé sans succès, en 1888, de traiter des quartz aurifères. C'est le gisement connu sous le nom de Oro del Norte, qui est très voisin de Paramillo.

L'or du Sud a été exploité depuis un temps immémorial, avant

même la conquête espagnole; mais ces travaux, abandonnés, n'ont pas été repris de nos jours. Les filons, encaissés dans l'andésite, renferment du quartz avec pyrite et chalcopyrite aurifère, plus ou moins décomposées.

Gite de cuivre de « las Choicas ». — Ce gisement, situé dans le département du 25-Mai, à 3.270 mètres d'altitude, près la ville de San Carlos (110 kilomètres sud de Mendoza), a été découvert en 1875; il présente une certaine importance géologique, mais avec des difficultés considérables pour le transport du minerai, qui se fait actuellement vers le Chili. Les minerais, encaissés dans du tertiaire, comprennent des chalcopyrites et des panabases argentifères et aurifères, dans une gangue de quartz ferrugineux.

Combustibles fossiles. — Des couches de lignite plus ou moins terreux ont été reconnues au voisinage immédiat de Mendoza, à l'ouest de cette ville, et 60 ou 80 kilomètres plus à l'ouest, entre San Ignacio et Salto. Les lignites de Mendoza, qui ont été le mieux explorés, sont dans le trias supérieur.

Des houilles carbonifères ont été reconnues également plus à l'Ouest entre 2.500 et 3.000 mètres dans les Andes, près de San Rafael, et l'on a remarqué la teneur notable en vanadium de leurs cendres.

L. D. L.

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE.

RHODESIA.

Ordonnance de 1895 sur l'exploitation des mines dans le district de la British South Africa Company.

L'exploitation des mines est régie dans le territoire de la *British South Africa Company*, ou plus communément de la *Chartered*, par une ordonnance de 1895, promulguée par la Direction de la Compagnie, en vertu des pouvoirs souverains qu'elle tire de sa charte d'institution.

Cette ordonnance s'applique (art. 3) à l'or, à l'argent, au platine, mercure, charbon (*coal*) et généralement aux minerais

(*ores*) et substances minérales (*minerals*), étant entendu (art. 4, *a*) que sous le terme de minerai (*ore*) on entend toute substance, métallique ou autre, d'une valeur économique qui en permette l'exploitation, à l'exception toutefois (art. 3) de l'huile minérale, des pierres précieuses et des substances fossiles autres que le charbon (*coal*).

Pour être exclues de l'ordonnance, ces dernières substances n'en sont pas pour cela laissées aux propriétaires de la surface; leur propriété en appartient directement à la Compagnie, comme le porte explicitement le préambule de l'ordonnance, quels que soient les droits que des tiers peuvent avoir acquis sur la surface.

Les mines — en entendant sous ce mot le champ dans lequel un particulier peut acquérir et posséder un droit exclusif d'exploitation sur les substances soumises à l'ordonnance — sont, à raison de la nature minéralogique du gîte à exploiter, partagées en trois catégories au point de vue de l'étendue et de la forme du périmètre, aussi bien que des droits et obligations des détenteurs.

On doit, en effet, distinguer :

Les mines de charbon (*coal locations*), qui peuvent avoir une forme quelconque sans que la surface puisse dépasser 160 *acres* (64 hectares) (art. 4, *g*, 4) (*), où le détenteur a le droit d'exploiter indéfiniment en profondeur verticale dans les limites du périmètre par lui choisi (art. 51);

Les mines d'alluvion (*alluvial claims*) pour les gîtes alluvionnaires de métaux précieux, or, argent, platine, constituées normalement par un carré de 200 pieds (60 mètres) (art. 4, *g*, 3) formant l'*alluvial claim*, avec possibilité d'associer à la priorité d'occupation, comme il sera dit plus tard, deux de ces *claims* en cas de découverte d'un gîte à plus de dix milles (16 kilomètres) de tout autre *alluvial claim* déjà constitué (art. 33) (**); la possession d'une mine d'alluvion donnant le droit d'exploiter indéfiniment en profondeur verticale dans les limites du périmètre;

(*) Sous réserve du droit de celui qui a découvert un gîte de houille à plus de dix milles (16 kilomètres) de toute autre mine de même nature de prendre une surface double (128 hectares) (art. 48).

(**) Le réglement prévoit, en outre, en faveur de l'inventeur (art. 34) une indemnité de 3.000 £ (7.500 francs) pour la découverte d'une alluvion payante trouvée à plus de dix milles (16 kilomètres) de tout autre claim d'alluvion antérieurement établi ;

Et de 5.000 £ (12.500 francs), si le nouveau gîte peut occuper 200 hommes pendant une année.

Les mines de toutes autres natures que les deux premières. constituées par les *reef claims*, dont l'élément (art. 4, 1) est un parallélogramme de 150 pieds (45 mètres) suivant la direction du gîte et de 600 pieds (180 mètres) comptés transversalement suivant l'inclinaison (*), avec possibilité (art. 4, 2) par une seule et même occupation, en terrains libres de tous autres droits, de constituer une mine par un *block* de dix de ces claims continus, c'est-à-dire par un parallélogramme de 1.500 pieds (450 mètres) suivant la direction et de 600 pieds (110 mètres) suivant le pendage; la concession d'une pareille mine conférant le droit, d'après un système renouvelé de la loi fédérale américaine sur les mines des *public lands*, d'exploiter non seulement indéfiniment en profondeur dans la verticalité du périmètre superficiaire, mais encore de suivre indéfiniment, suivant leur pendage, entre les limites latérales du périmètre, tout gîte qui affleure dans le périmètre superficiaire (art. 20).

Outre les *claims* ou *locations* dont on peut s'assurer la possession pour exploitation directe et immédiate par la procédure qui va être spécifiée, l'ordonnance prévoit des *tunnels locations*, constituées par des carrés de 1.500 pieds de côté (450 mètres) dans lesquels, à la priorité de la demande, on s'assure le droit, sous la condition de la continuité du travail (**), de pousser une galerie de recherche (*tunnel*) (***).

L'acquisition du droit d'exploiter les mines par les voies du droit civil est complètement libre (art. 77) (****), sauf paiement des droits de transfert (*****). Mais les mines n'ont pu et ne peuvent

---

(*) En réalité, l'intéressé fixe à sa volonté la position de la ligne représentant la trace de la direction moyenne de l'affleurement et l'axe du parallélogramme, ainsi que l'orientation des lignes terminales réputées dirigées suivant l'inclinaison.

(**) On doit avoir fait 75 pieds (22m,30) dans les 120 premiers jours et 200 pieds (60 mètres) par année ultérieure.

(***) On ne voit rien, dans le texte, qui empêche le « tunnel » d'être une galerie à mi-pente ou un puits incliné; mais, d'autre part, le texte paraît ne pas admettre qu'il puisse être un puits vertical.

(****) Sans parler des oppositions du droit civil pouvant résulter de l'existence d'hypothèques ou d'autres droits réels, l'article 77 ne prévoit que deux réserves à la libre transmission: 1° un claim ou une location n'est cessible qu'après l'obtention du premier certificat de travail maximum obligatoire; 2° on ne pourrait valablement céder un second claim d'alluvion que soixante jours après la cession d'un premier.

(*****) Outre des droits de timbre toujours fort élevés (6 fr. 25 dans l'occurrence), l'article 77 prévoit un droit de transfert de 1 p. 100 de la valeur stipulée dans l'acte de transmission.

être originairement constituées que par la procédure suivante :

Tout individu majeur, résidant dans la colonie, doit se munir auprès de l'Administration d'un permis (*prospecting license*) qui lui confère le droit de faire des fouilles tant dans les terrains publics que dans ceux des particuliers qui ne sont pas en culture ou qui ne bénéficient pas d'une protection spéciale.

Si l'explorateur découvre un gîte par un travail autre qu'un simple sondage (art. 15 pour les *reef claims*, art. 45 pour les *cool locations*), il doit en faire la déclaration et l'indiquer matériellement à la surface par la plantation d'un signal, ce qui lui assure le droit exclusif de poursuivre des recherches durant un délai de trente jours dans un cercle de 1.000 pieds (300 mètres) de rayon (28 hectares) pour les *reefs* (art. 14) et de 2.000 pieds (600 mètres) de rayon (113 hectares) pour la houille (art. 46).

Pendant cette période, l'intéressé doit procéder à la délimitation matérielle de son *claim* ou de sa *location* et à son enregistrement par l'administration.

Ceci fait, il a le droit d'exploiter librement, à charge de satisfaire au travail minimum obligatoire et de s'être entendu avec la Compagnie à charte sur le partage des bénéfices à provenir de l'exploitation.

Comme travail minimum, obligatoire à peine de déchéance pure et simple, l'ordonnance exige pour les *reef claims* l'exécution de 30 pieds (9 mètres) de puits ou galerie dans les 120 jours de l'enregistrement et de 60 pieds (18 mètres) dans chacune des années suivantes (art. 23). Le détenteur de plusieurs *claims* peut demander à poursuivre sur un seul d'entre eux le total du travail auquel il est tenu pour tous. Des dispenses peuvent être accordées, lorsque les circonstances le justifient, pour six mois au plus, sauf prorogation expresse de l'administration (art. 66).

Aucun travail minimum obligatoire n'est exigé pour la houille.

Pour les *alluvial claims*, le droit d'exploitation découle de la simple priorité de l'occupation dûment signalée matériellement à la surface et déclarée à l'administration. La loi ne stipule pas de travail minimum à exécuter ; elle exige le paiement d'une taxe de 1 £ (25 francs) par mois (*).

Pour tout *claim* ou *location* en dehors des claims d'alluvion, l'article 52 stipule qu'en principe la Compagnie à charte a droit à la moitié des bénéfices nets, sauf entente sur toute autre base à établir avec l'exploitant préalablement à toute distribution de

(*) Soit 833 francs par hectare et par an.

dividende (art. 53 et 54) et moyennant alors le paiement supplémentaire d'une taxe mensuelle de 10 shillings (12 fr. 50) par claim (art. 55) (*).

Un permis de recherches ne donne le droit d'acquérir qu'un bloc de *claim* ou une *location* (ou deux en cas d'invention) de houille par permis; mais tout individu peut solliciter un nouveau permis pour une nouvelle acquisition à faire de même, dès qu'il a abandonné ou enregistré son premier *claim* et sa première *location* (art. 9 et 11).

Toute personne majeure peut obtenir un permis; mais elle ne peut faire intervenir en son lieu et place, en cas d'absence, qu'une personne résidant sur le territoire de la Compagnie à charte, à moins d'une autorisation formelle (art. 6 et 8).

Les exploitants peuvent acquérir, à la priorité de l'occupation, dans les endroits où cela ne peut nuire à l'exploitation des mines, les emplacements d'une étendue variant, suivant l'objet, de un à dix acres, nécessaires à leur habitation et à leur industrie (établissement de moulins et d'usines, dépôt de déblais) à raison d'une taxe mensuelle de 5 shillings par acre (**).

Toute mine (*claim* ou *location*) et tout emplacement tels que ceux dont on vient de parler peut, moyennant le paiement des droits à ce afférents, faire l'objet, si aucun droit meilleur ne s'y oppose, d'un enregistrement spécial (art. 70), par lequel le plan est officiellement reconnu et constaté après procédure particulière. Cet enregistrement constitue un titre de propriété en faveur du détenteur (art. 71), mais sans le soustraire aux clauses de déchéance et de déchéance pure et simple, édictées par la loi, notamment pour les *reef-claims* pour défaut d'exécution du travail minimum obligatoire (*id.*).

Les terrains tombés en déchéance ne peuvent être appropriés à nouveau que lorsque avis en a été donné par publication officielle (art. 86).

En cas de déchéance, le propriétaire peut retirer toutes constructions et machines, et disposer de tout minerai extrait (art. 88).

En somme, hors la clause du partage des bénéfices, l'ordonnance ne diffère pas sensiblement, dans ses principes, des règlements ordinaires de la plupart des colonies anglaises. Pour découvrir et mettre en œuvre les ressources minérales de son territoire, la *Chartered* n'a pas cru trouver de meilleur moyen que celui

(*) Soit 185 francs par hectare et par an.
(**) Soit 187 fr. 50 par hectare et par an.

consacré par l'expérience de toutes les colonies anglo-saxonnes : l'appel à l'initiative individuelle des explorateurs par l'attribution de la mine par voie de l'occupation ou de l'invention avec l'allocation de très petites surfaces à l'origine, et toute une série de mesures pour éviter l'accaparement par les mêmes individus. Les règles sur le travail obligatoire, avec la déchéance, et la déchéance pure et simple, pour sanction, sont peut-être plus rigoureuses qu'on ne l'a admis par ailleurs. Les taxes de timbre et d'enregistrement et les redevances mensuelles ne sont pas plus légères.

Restent deux particularités : celle tout à fait spéciale, peu encourageante, du partage des bénéfices ; et celle, d'un tout autre ordre, renouvelée des pratiques américaines, pour l'attribution de la propriété des gîtes métalliques par couche ou filon.

L. A.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1897 ET EN 1898 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS	NATURE DU COMBUSTIBLE	PRODUITS 1897	PRODUITS 1898
		tonnes	tonnes
Allier	Houille	937.199	958.795
Alpes (Basses-)	Lignite	24.803	33.269
Alpes (Hautes-)	Anthracite	10.700	11.250
Ardèche	Houille et anthracite	50.361	54.991
Aveyron	Houille	1.018.475	1.083.334
	Lignite	3.507	4.619
Bouches-du-Rhône	Idem	390.473	450.316
Cantal	Houille	99.295	84.185
	Lignite	42	20
Corrèze	Houille	1.480	320
Corse	Idem	»	20
Côte-d'Or	Houille et anthracite	10.400	7.208
Creuse	Houille	195.676	196.598
Dordogne	Lignite	2.819	3.882
Drôme	Idem	340	183
Gard	Houille	1.843.991	1.925.829
	Lignite	19.856	19.346
Hérault	Houille et anthracite	203.730	201.145
	Lignite	200	210
Isère	Anthracite	210.287	240.585
	Lignite	128	157
Loire	Houille et anthracite	3.707.477	3.755.389
Loire (Haute-)	Houille	224.454	232.986
Loire-Inférieure	Anthracite	19.040	20.015
Lot	Houille	7.016	2.284
Maine-et-Loire	Anthracite	14.608	13.912
Mayenne	Idem	34.798	40.920
Nièvre	Houille	196.301	192.153
Nord	Houille et anthracite	5.523.812	5.784.976
Pas-de-Calais	Houille	12.807.438	13.614.006
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	356.423	385.438
Pyrénées-Orientales	Lignite	1.672	1.757
Rhône	Houille	31.631	33.290
Saône (Haute-)	Idem	218.732	216.941
	Lignite	10.770	8.895
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.951.213	2.095.478
Sarthe	Anthracite	2.258	»
Savoie	Idem	10.417	9.825
	Lignite	1.100	5.800
Savoie (Haute-)	Anthracite	179	215
Sèvres (Deux-)	Houille	16.174	18.417
Tarn	Idem	609.443	700.640
Var	Lignite	636	»
Vaucluse	Idem	3.215	2.784
Vendée	Houille	24.199	26.496
Vosges	Lignite	790	786
Yonne	Idem	71	71
Récapitulation	Houille et anthracite	30.337.207	31.907.641
	Lignite	460.422	532.095
Totaux		30.797.629	32.439.736
Augmentation			1.642.107

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal officiel* du 17 mars 1899. Les chiffres concernant l'année 1898 sont extraits des états *semestriels* fournis par les ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1897, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

PRODUCTION PAR BASSIN.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	PRODUITS 1897	PRODUITS 1898	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*)	DÉPARTEMENTS OU LES BASSINS SONT SITUÉS	PRODUITS 1897	PRODUITS 1898
	tonnes	tonnes			tonnes	tonnes

I. — Houille et Anthracite.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	1897	1898	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (*)	DÉPARTEMENTS	1897	1898
Nord et Pas-de-Calais	18.331.250	19.398.982	Valenciennes	Pas-de-Calais, Nord	18.330.079	19.398.230
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	1.171	752
Loire	3.750.164	3.805.008	Saint-Etienne (et Rive-de-Gier)	Loire, *Rhône*	3.707.477	3.754.908
			Sainte-Foy-l'Argentière	Rhône	31.631	33.290
			Communay	Isère	11.056	16.329
			Le Roannais (Roanne)	Loire, *Rhône*	»	481
Bourgogne et Nivernais	2.202.490	2.335.392	Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.781.527	1.914.432
			Decize	Nièvre	196.301	192.153
			Epinac et Aubigny-la-Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	111.431	111.254
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	62.160	73.552
			Bert	Allier	44.576	40.553
			Sincey, *Forges*	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	6.495	3.448
Gard	1.894.352	1.980.820	Alais	Gard, Ardèche	1.855.078	1.938.106
			Aubenas	Ardèche	30.474	32.328
			Le Vigan	Gard	8.800	10.386
Tarn et Aveyron	1.634.934	1.786.258	Aubin	Aveyron	1.006.031	1.068.532
			Carmaux	Tarn	609.443	700.640
			Rodez	Aveyron	12.444	14.802
			Saint-Perdoux	Lot	7.016	2.284
Bourbonnais	1.128.422	1.176.229	Commentry (et Doyet)	Allier	834.235	847.673
			Saint-Eloy	Puy-de-Dôme	235.799	257.987
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	58.388	70.569
			La Queune (Fins et Noyant)	*Allier*	»	»
Auvergne	444.373	444.622	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	276.690	289.856
			Champagnac et Bourg-Lastic	Cantal, Puy-de-Dôme	136.557	122.264
			Langeac	Haute-Loire	31.126	32.502
Alpes occidentales	220.527	245.546	Le Drac (La Mure)	Isère	199.167	224.011
			Maurienne-Tarentaise et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie	21.117	21.075
			Oisans et *le Grésivaudan*	Isère	[illegible]	[illegible]
			Chablais et Faucigny	Haute-Savoie	179	[illegible]
Vosges méridionales	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Haute-Saône	[illegible]	[illegible]

			[illegible]	[illegible]	150.808	180.869
Creuse et Corrèze	197.150	196.918	Bourganeuf	Creuse	14.808	15.729
			Meymac et Argentat, Cublac (Terrasson)	Corrèze, *Dordogne*	1.480	320
Ouest	111.077	110.780	Vouvant et Chantonnay	Deux-Sèvres, Vendée	40.373	44.913
			Le Maine	Mayenne, Sarthe	37.056	40.920
			Basse-Loire	Loire-Inférieure, Maine-et-Loire	33.648	33.927
			Le Cotentin (le Plessis)	*Manche*	»	»
			Saint-Pierre-la-Cour	*Mayenne*	»	»
Corse	»	20	Osani	Corse	»	20
Les Maures	»	»	*Les Maures (Fréjus)*	*Var, Alpes-Maritimes*	»	»
Les Pyrénées	»	»	*Ibantelly, Durban et Ségure*	*Basses-Pyrénées, Aude*	»	»
Totaux pour les houilles	30.337.207	31.907.641			30.337.207	31.907.641

II. — Lignite.

Provence	415.912	483.585	Fuveau (Aix)	Bouches-du-Rhône, Var	391.109	450.316
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	24.803	33.269
			La Cadière	*Var*	»	»
Comtat	22.580	21.435	Bagnols, Orange, *Banc-Rouge, Vagnas*	Gard, Vaucluse, *Ardèche*	18.984	17.516
			Barjac et Célas	Gard	2.238	2.543
			Méthamis	Vaucluse	1.358	1.376
			Montoulieu	*Hérault*	»	»
Sud-Ouest	8.731	11.183	Millau et Trévezel	Aveyron, Gard	3.998	5.314
			Le Sarladais	Dordogne	2.819	3.882
			Estavar, *Larquier, Orignac, St-Lon*	Pyrénées-Orientales, *Landes, Hautes-Pyrénées*	1.672	1.757
			La Caunette	Hérault, *Aude*	200	210
Vosges méridionales	11.560	9.681	Murat	Cantal	42	20
			Gouhenans, *Gémonval*	Haute-Saône	10.770	8.895
			Norroy	Vosges	790	786
Haut-Rhône	1.568	6.140	Chambéry et *Entrevernes*	Savoie, *Haute-Savoie*	1.100	5.800
			Hauterives, *Montélimar*	Drôme	340	183
			La Tour-du-Pin	Isère	128	157
			Dourres, Vercia	*Ain, Jura*	»	»
Yonne	71	71	Joigny	Yonne	71	71
Totaux pour les lignites	460.422	532.095			460.422	532.095
Totaux généraux	30.797.629	32.439.736			30.797.629	32.439.736

(*) Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées, et les départements correspondants, ont leurs noms en *italique*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de LA FONTE suivant la nature du combustible	1897			1898		
		FONTES		PRODUCTION	FONTES		PRODUCTION
		d'affinage	de moulage et moulée en 1re fusion	totale	d'affinage	de moulage et moulée en 1re fusion	totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	18.008	5.610	23.618	20.362	10.293	30.655
Ardèche	Au coke	15.367	7.597	22.964	16.204	8.105	24.309
Ariège	Au coke	24.426	»	24.426	29.757	»	29.757
Aveyron	Au coke	13.003	»	13.003	18.103	»	18.103
Bouches-du-Rhône	Au coke	8.379	4.786	13.165	12.358	953	13.311
Charente	Au bois	»	750	750	»	500	500
Cher	Mixte	»	17.734	17.734	»	16.810	16.810
Dordogne	Au bois	110	460	570	»	430	430
Gard	Au coke	56.286	2.139	58.425	55.046	20.737	75.783
Isère	Au coke	33.727	6	34.006	35.721	5	35.726
	Au bois	273	»		»	»	
Landes	Au coke	63.014	5.000	73.478	69.815	2.086	76.160
	Au bois	3.361	2.103		1.651	2.608	
Loire	Au coke	22.536	4	22.540	23.101	2	23.103
Loire-Inférieure	Au coke	43.725	11.626	55.351	57.068	17.416	74.484
Lot-et-Garonne	Au coke	388	19.201	19.589	275	19.783	20.058
Marne (Haute-)	Au coke	20.810	35.700	58.491	22.988	27.548	54.582
	Au bois	567	29		1.316	44	
	Mixte	»	1.385		»	2.686	
Meurthe-et-Moselle	Au coke	1.147.815	397.848	1.545.663	1.133.168	411.756	1.544.924
Nord	Au coke	294.037	»	294.037	287.000	»	287.000
Pas-de-Calais	Au coke	82.548	»	82.548	79.374	»	79.374
Rhône	Au coke	11.440	4.461	15.910	11.460	4.415	15.875
Saône (Haute-)	Au bois	»	»	»	194	11	205
Saône-et-Loire	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	105.028

RÉCAPITULATION.

Fonte	Au coke	1.958.059	499.360	2.457.419	1.982.252	525.925	2.508.177
	Au bois	4.311	3.342	7.653	3.161	3.593	6.754
	Mixte	»	19.119	19.119	»	19.496	19.496
Totaux		1.962.370	521.821	2.484.191	1.985.413	549.014	2.534.427
Augmentations					23.043	27.193	50.236

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1897 RAILS	1897 FERS marchands et spéciaux	1897 TÔLES	1897 PRODUCTION totale	1898 RAILS	1898 FERS marchands et spéciaux	1898 TÔLES	1898 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Réchauffage de vieux fers	»	»	155	155	»	»	1.200	1.200
Allier	Puddlage	113	12.695	3.012	15.820	64	18.679	4.924	23.667
Ardennes	Puddlage	»	54.609	11.147	94.164	»	51.994	11.850	89.893
	Affinage au charbon de bois	»	»	»		»	35	»	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	24.324	4.084		»	23.597	2.417	
Ariège	Puddlage	»	11.299	»	18.652	»	12.304	»	12.304
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	7.353	»		»	»	»	
Aube	Puddlage	»	2.700	»	5.528	»	3.496	»	4.574
	Réchauffage de vieux fers	»	2.828	»		»	1.078	»	
Aveyron	Puddlage	»	4.150	197	8.754	»	4.550	313	8.847
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	3.591	816		»	3.105	879	
Bouches-du-Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.862	»	1.862	»	2.090	»	2.090
Côte-d'Or	Puddlage	»	3.463	»	5.304	»	3.235	297	4.863
	Affinage au charbon de bois	»	39	»		»	»	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.070	732		»	840	491	
Côtes-du-Nord	Réchauffage de vieux fers	»	4.665	»	4.665	»	4.302	»	4.302
Dordogne	Puddlage	»	150	»	3.150	»	60	»	2.260
	Affinage au charbon de bois	»	1.000	»		»	500	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	2.000	»		»	1.700	»	

PRODUCTION DES FERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DU FER	1897 Rails	1897 Fers marchands et spéciaux	1897 Tôles	1897 Production totale	1898 Rails	1898 Fers marchands et spéciaux	1898 Tôles	1898 Production totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Doubs	Puddlage	»	»	»	7.248	»	3.052	»	7.003
	Affinage au charbon de bois	»	1.598	876		»	1.813	781	
	Réchauffage de vieux fers	»	4.385	389		»	1.185	171	
Eure	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.366	»	6.366	»	6.313	»	6.313
Gard	Puddlage	»	5.126	»	5.126	»	4.355	»	4.355
Garonne (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.943	»	2.943	»	2.475	»	2.475
Ille-et-Vilaine	Réchauffage de vieux fers	»	84	»	84	»	109	»	109
Isère	Puddlage	»	14	»	14	»	19	»	19
Jura	Puddlage	»	11.723	4.241	16.950	»	12.392	4.537	18.217
	Affinage au charbon de bois	»	46	»		»	48	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	659	281		»	720	520	
Landes	Puddlage	»	1.088	»	3.953	»	853	»	3.196
	Affinage au charbon de bois	»	1.800	»		»	1.198	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	1.065	»		»	1.145	»	
Loire	Puddlage	»	20.685	5.924	33.513	»	22.097	5.999	34.920
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	6.904	»		»	6.824	»	
Loire-Inférieure	Puddlage	»	1.397	»	9.142	»	1.622	»	8.557
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	7.525	220		»	6.935	»	
Marne (Haute-)	Puddlage	»	49.467	3.889	65.129	»	52.184	4.304	68.308
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	11.672	101		»	11.760	60	
Meurthe-et-Moselle	Puddlage	»	39.989	5.010	50.999	»	33.959	2.230	44.624
	Réchauffage de vieux fers	»	6.000	»		»	8.435	»	
Meuse	Puddlage	»	7.708	»	8.670	»	7.968	»	8.933
	Réchauffage de vieux fers	»	962	»		»	965	»	
Nièvre	Puddlage	»	3.244	77	5.879	»	1.356	68	2.242
	Affinage au charbon de bois	»	474	11		»	568	9	
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.064	9		»	236	5	
Nord	Puddlage	480	159.161	22.209	295.385	166	200.000	12.660	327.326
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	102.843	10.692		»	91.000	23.500	
Oise	Puddlage	»	14.924	2.773	17.830	»	11.855	1.066	13.167
	Affinage au charbon de bois	»	»	142		»	»	240	
Orne	Réchauffage de vieux fers	»	14	»	[illegible]	»	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Pyrénées-Orientales	Réchauffage de vieux fers	[illegible]	[illegible]	»	[illegible]	»	[illegible]	»	
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Puddlage	»	»	»	565	»	15	»	415
	Affinage au charbon de bois	»	565	»		»	400	»	
Rhône	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	375	»	375	»	»	»	»
Saône (Haute-)	Affinage au charbon de bois	»	1	170	171	»	1	187	188
Saône-et-Loire	Puddlage	»	31.647	1.244	48.715	»	46.186	756	46.942
	Réchauffage de vieux fers	»	15.824	»		»	»	»	
Sarthe	Réchauffage de vieux fers	»	28	»	28	»	28	»	28
Savoie	Puddlage	»	»	»	30	»	8	»	29
	Affinage au charbon de bois	»	30	»		»	9	»	
	Réchauffage de vieux fers	»	»	»		»	12	»	
Savoie (Haute-)	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	1.700	610	2.310	»	1.545	509	2.054
Seine	Réchauffage de vieux fers	»	33.897	»	33.897	»	37.304	»	37.304
Seine-Inférieure	Réchauffage de vieux fers	»	87	»	87	»	52	»	52
Seine-et-Oise	Réchauffage de vieux fers	»	3.660	»	3.660	»	3.709	»	3.709
Somme	Puddlage	»	945	»	3.005	»	705	»	2.901
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	2.060	»		»	2.196	»	
Tarn	Puddlage	»	3.040	»	3.543	»	2.908	»	3.632
	Réchauffage de vieux fers et riblons	»	503	»		»	724	»	
Vosges	Réchauffage de vieux fers	»	105	38	143	»	132	104	236

RÉCAPITULATION.

Fer	Puddlé	593	439.224	59.723	499.540	230	495.852	49.004	545.086
	Affiné au charbon de bois	»	5.682	1.199	6.881	»	4.754	1.223	5.977
	Obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons	»	259.418	18.127	277.545	»	220.624	29.856	250.480
	Totaux	593	704.324	79.049	783.966	230	721.230	80.083	801.543
	Diminution					363	»	»	»
	Augmentations					»	16.906	1.034	17.577

Observation. — Les fers bruts ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués ne figurent pas sur le tableau, afin d'éviter un double emploi.

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1897					1898				
		PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin	PRODUCTION DES ACIERS OUVRÉS				PRODUCTION des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		Rails	Aciers marchands	Tôles	PRODUCTION totale		Rails	Aciers marchands	Tôles	PRODUCTION totale	
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Aisne	Fusion au foyer Bessemer	»	»	751	751	»	»	»	800	800	»
	Fusion au four Siemens-Martin	100	20.651	8.606		41.357	»	30.587	3.527		39.204
Allier	Puddlage	»	50	»	30.477	»	»	60	»	35.434	»
	Cémentation	»	50	»		»	»	60	»		»
	Fusion au creuset	»	1.020	»		»	»	1.200	»		»
Ardennes	Fusion au foyer Bessemer	»	24.693	12.131	46.168	»	»	23.615	11.770	43.996	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	138	8.899		10.512	»	143	7.660		8.680
	Cémentation	»	10	»		»	»	3	»		»
	Fusion au creuset	»	297	»		»	»	410	»		»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	40	355		»
Ariège	Fusion au four Siemens-Martin	»	2.278	»	4.655	3.149	»	3.463	»	3.859	4.440
	Puddlage	»	2.231	»		»	»	292	»		»
	Cémentation	»	98	»		»	»	79	»		»
	Fusion au creuset	»	48	»		»	»	25	»		»
Aube	Fusion au foyer Bessemer	»	2.579	»	2.579	»	»	2.505	»	2.505	»
Aveyron	Fusion au four Siemens-Martin	157	11.121	312	11.590	8.411	808	10.999	392	12.199	10.425
Bouches-d.-Rhône	Fusion au foyer Bessemer	»	530	»	530	»	»	615	»	615	»
Charente	Fusion au four Siemens-Martin	»	247	»	247	»	»	233	»	233	»
Côte-d'Or	Fusion au foyer Bessemer	»	8.440	788	9.388	»	»	23	882	11.332	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	»		»	»	10.069	100		»
	Puddlage	»	»	»		»	»	48	11		»
	Cémentation	»	80	»		»	»	76	3		»
	Fusion au creuset	»	80	»		»	»	90	»		»
Doubs	Réchauffage du vieil acier	»	»	»	12.088	»	»	30	»	14.172	»
	Fusion au foyer Bessemer	»	4.647	»		»	»	9.057	»		»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	4.050	8.300		8.386	»	1.765	8.242		4.347
	Réchauffage du vieil acier	»	»	»		»	»	108	»		»
Gard	Fusion au foyer Bessemer	10.70[illegible]	11.44[illegible]	»	40.037	39.29[illegible]	20.532	49	»	[illegible]	32.024
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	»		[illegible]	[illegible]	[illegible]	»		[illegible]

Indre-et-Loire	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Isère	Fusion au four Siemens-Martin	»	[illegible]	»	4.780	4.764	»	3.315	»	4.664	7.594
	Puddlage	»	1.210	»		»	»	1.170	»		»
	Cémentation	»	207	»		»	»	179	»		»
	Fusion au creuset	»	546	»		»	»	»	»		»
Jura	Fusion au foyer Bessemer	»	6.585	»	12.810	»	»	12.743	»	18.973	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	1.897	4.328		6.975	»	2.000	4.230		5.843
Landes	Fusion au foyer Bessemer	31.415	9.498	»	50.262	44.908	24.908	11.080	»	43.995	45.294
	Fusion au four Siemens-Martin	»	9.349	»		12.145	»	8.007	»		13.626
Loire	Fusion au foyer Bessemer	»	4.425	366	66.904	»	»	»	»	71.809	»
	Fusion au four Siemens-Martin	136	34.540	17.629		83.505	189	35.100	16.255		60.881
	Puddlage, affinage au charbon de bois	»	2.056	40		»	»	1.974	»		»
	Cémentation	»	422	»		»	»	450	45		»
	Fusion au creuset	»	6.101	217		»	»	11.380	457		»
	Réchauffage de vieil acier	»	935	37		»	»	5.855	104		»
Loire-Inférieure	Fusion au foyer Bessemer	21.222	890	»	49.708	25.229	18.223	120	1.700	54.825	24.244
	Fusion au four Siemens-Martin	»	11.132	16.464		38.117	»	11.720	23.062		46.603
Marne (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	12.015	1.349	27.058	590	»	11.345	3.198	32.529	622
	Fusion au four Siemens-Martin	»	13.694	»		16.770	»	17.986	»		16.924
Meurthe-et-Moselle	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	31.093	98.698	7.664	158.127	459.334	54.293	135.916	19.286	224.067	529.567
	Fusion au four Siemens-Martin	»	12.852	6.228		17.603	»	3.491	9.009		18.578
	Puddlage	»	830	402		»	»	1.226	442		»
	Réchauffage du vieil acier	»	»	360		»	»	»	404		»
Meuse	Fusion au foyer Bessemer (procédé Thomas)	»	1.637	»	8.450	1.637	»	2.667	»	8.678	2.460
	Fusion au four Siemens Martin	»	6.031	»		6.539	»	6.011	»		6.522
	Réchauffage de vieil acier	»	782	»		»	»	»	»		»
Morbihan	Fusion au four Siemens-Martin	»	»	14.719	14.719	23.184	»	»	16.960	16.960	25.106
Nièvre	Fusion au four Siemens-Martin	40	19.369	383	19.849	25.752	19	23.978	655	24.679	25.853
	Puddlage	»	30	»		»	»	13	»		»
	Fusion au creuset	»	27	»		»	»	14	»		»
Nord	Fusion au foyer Bessemer	37.752	71.233	15.585	204.648	125.425	39.000	89.100	19.400	231.690	142.000
	Fusion au four Siemens-Martin	»	30.162	49.741		90.694	»	30.000	54.000		84.800
	Fusion au creuset	»	175	»		»	»	190	»		»
Oise	Fusion au foyer Bessemer	»	19.857	»	41.257	»	»	13.964	»	32.806	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.867	17.533		28.270	»	3.296	15.546		22.307
Pas-de-Calais	Fusion au foyer Bessemer	44.724	2.702	»	57.766	59.763	46.076	7.083	»	63.861	67.244
	Fusion au four Siemens-Martin	»	10.340	»		13.445	»	10.702	»		12.720
Rhin (Haut-) (Territoire de Belfort)	Fusion au four Siemens-Martin	»	3.180	»	3.180	5.150	»	2.850	»	2.850	4.910
Rhône	Réchauffage de vieil acier	»	53	»	53	»	»	»	»	»	»
Saône (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	»	1.380	1.380	»	»	»	1.180	1.280	»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	»		»	»	»	100		»
Saône-et-Loire	Fusion au foyer Bessemer	4.421	30.468	6.560	105.663	46.149	7.226	28.933	17.549	113.696	62.540
	Fusion au four Siemens-Martin	»	28.650	30.564		68.155	»	29.852	30.136		82.571
	Puddlage	»	»	5.000		»	»	»	»		»
Savoie	Fusion au four Siemens-Martin	»	203	»	203	»	»	162	»	162	»
Savoie (Haute-)	Fusion au foyer Bessemer	»	440	»	440	»	»	600	»	600	»

PRODUCTION DES ACIERS (*suite*).

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1897 — Production des aciers ouvrés — Rails	1897 — Aciers marchands	1897 — Tôles	1897 — Production totale	1897 — Production des lingots Bessemer et Siemens-Martin	1898 — Production des aciers ouvrés — Rails	1898 — Aciers marchands	1898 — Tôles	1898 — Production totale	1898 — Production des lingots Bessemer et Siemens-Martin
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Seine	Fusion au foyer Bessemer	»	1.828	»	2.285	»	»	1.984	»	3.758	»
	Fusion au four Siemens-Martin	»	422	»		»	»	1.791	»		»
	Cémentation	»	1	»		»	»	2	»		»
	Fusion au creuset	»	34	»		»	»	71	»		»
Seine-Inférieure	Fusion au foyer Bessemer	»	»	»	»	»	»	500	»	500	»
Sèvres (Deux-)	Fusion au four Siemens-Martin	»	10	»	10	10	»	»	»	»	»
Tarn	Puddlage	»	1.163	»	2.927	»	»	1.436	»	3.223	»
	Cémentation	»	218	»		»	»	213	»		»
	Fusion au creuset	»	1.546	»		»	»	1.574	»		»
Vosges	Fusion au foyer Bessemer	»	1.187	1.431	3.818	»	»	1.125	1.503	3.680	»
	Réchauffage de vieil acier	»	»	1.200		»	»	169	883		»

RÉCAPITULATION.

DÉPARTEMENTS	MODE DE FABRICATION DE L'ACIER	1897 — Rails	1897 — Aciers marchands	1897 — Tôles	1897 — Production totale	1897 — Production des lingots	1898 — Rails	1898 — Aciers marchands	1898 — Tôles	1898 — Production totale	1898 — Production des lingots
Acier	Fondu au foyer Bessemer	190.425	314.278	53.005	557.708	802.320	216.258	353.024	77.268	646.550	905.995
	Fondu au four Siemens-Martin	1.435	234.979	178.772	415.186	522.887	5.796	270.047	184.774	460.617	535.638
	Puddlé et de forge	»	7.570	442	8.012	»	»	6.219	453	6.672	»
	Cémenté	»	1.186	»	1.186	»	»	1.062	48	1.110	»
	Fondu au creuset	»	9.874	217	10.091	»	»	14.954	457	15.411	»
	Obtenu par réchauffage de vieil acier	»	1.111	1.597	2.708	»	»	6.427	1.846	8.273	»
	Totaux	191.860	568.998	234.033	994.891	1.325.213	222.054	651.733	264.846	1.138.633	1.441.633
	Augmentations						30.194	82.735	30.813	143.742	116.420

La production des lingots ne correspond pas entièrement à celle des aciers ouvrés Bessemer et Martin, car il y a lieu de tenir compte des variations du stock.

COMMISSION DU GRISOU

NOTE
SUR LES RECHERCHES RÉCENTES
CONCERNANT LES EXPLOSIFS DE SURETÉ

PRÉSENTÉE A LA COMMISSION

Par M. G. CHESNEAU, Ingénieur en chef des Mines,
Secrétaire de la Commission du grisou.

Dix ans se sont écoulés depuis que la Commission française des substances explosives a jeté les bases d'une théorie scientifique des explosifs de sûreté pour mines à grisou, si lumineusement exposée dans le rapport de Mallard publié en 1888 dans les *Annales des Mines*. Traduite en règles pratiques dans la circulaire ministérielle du 1er août 1890, elle n'a pas démenti jusqu'à présent les prévisions de ses créateurs, car on ne relève pas en France, depuis cette époque, d'accident de grisou produit par un coup de mine chargé avec les nouveaux explosifs réglementaires.

Acceptée avec empressement par certains pays, comme la Russie, qui a emprunté les bases de la réglementation des explosifs de sûreté à la nôtre, la théorie française n'a été accueillie qu'avec réserve par les principaux pays européens producteurs de houille, et des expériences ont été entreprises en Angleterre, en Autriche et en Allemagne en vue de contrôler ses conclusions avant de

réglementer le tirage des coups de mines dans les houillères grisouteuses.

Les critiques formulées contre la théorie française dans quelques-unes des publications récentes concernant ces expériences, et l'abandon complet des principes de notre réglementation dans celle que vient d'édicter l'Angleterre, nous paraissent de sérieux motifs pour examiner avec soin si les résultats obtenus dans les autres pays sont de nature à ébranler la confiance qu'inspirent à nos exploitants les éminents fondateurs de la théorie française, et s'ils diffèrent assez de ceux obtenus chez nous pour qu'il y ait lieu d'instituer une nouvelle série d'expériences officielles sur les explosifs de sûreté.

L'examen des travaux récents entrepris à l'étranger sur cette question (*) nous a montré que les objections adressées à la Commission française tiennent surtout à ce qu'on lui prête des conclusions plus absolues que celles qu'elle a émises. Il nous paraît donc utile, avant de passer en revue les résultats des recherches faites à l'étranger, de rappeler très brièvement ceux qui ont été obtenus en France.

FRANCE.

Les principaux *faits certains*, *entièrement nouveaux*, établis par la Commission française des substances explosives peuvent être résumés comme il suit :

1° Tout explosif dont les produits atteignent, pendant la détonation, une température dépassant 2. 200° (pour un

(*) En dehors des mémoires originaux, ou rapports officiels, il a été publié des analyses détaillées de ces travaux, notamment :

1° Par M. Schmerber, Ingénieur des Arts et Manufactures, dans *le Génie civil* (1897, 1er sem., t. XXXI, p. 228, 244, 340 et 356 ; et 1897, 2e sem., t. XXXII, p. 17, 300, 316, 410 et 427.

2° Dans les *Annales des Mines de Belgique*, t. I (1896), p. 1, 29, 43, 552 et 585 ; t. II (1897), 4e livr. ; et t. III (1898), p. 564 et 777 (notes et articles de MM. Henrotte, Watteyne, Denoël et Daniel).

poids de 50 grammes d'explosif entouré d'une enveloppe mince de plomb), est susceptible d'allumer le grisou ; la poudre noire, même déflagrant au milieu de l'eau, la dynamite, le coton-poudre, la dynamite-gomme, la dynamite-gélatine, etc., sont dans ce cas (*) ;

2° Avec un explosif détonant à l'air libre dans une capacité de 10 mètres cubes contenant un mélange à 10 p. 100 de formène, si la température de détonation est inférieure à 2.200°, le grisou *peut* n'être pas allumé, par suite du *refroidissement rapide des gaz pendant leur détente* et du *retard à l'inflammation* des mélanges d'air et de formène, découverten 1883 par MM. Mallard et Le Chatelier ;

3° Si à un explosif détonant, qui, seul, allume le grisou (comme la dynamite et le coton octonitrique), on ajoute des quantités croissantes de substances ne détonant point par elles-mêmes ou produisant, comme l'azotate d'ammoniaque, des effets de détonation moindres que l'explosif lui-même, et dont l'effet est d'abaisser la température de détonation, il existe une proportion pour laquelle, à charge totale constante de 50 grammes détonant à l'air libre, le grisou n'est pas allumé (**).

Les conclusions *pratiques* tirées de ces faits d'expérience par la Commission française sont que : plus la température de détonation est basse, moins il y a de chances d'allumer le grisou; mais, si l'on peut ainsi diminuer considérablement le danger de l'explosion, la sécurité n'est jamais absolue « en raison de la complexité et du peu de fixité « des phénomènes qui peuvent se présenter dans la dé- « tonation des explosifs à l'air libre » ; aussi « sera-t-il « toujours prudent d'éviter le tirage des coups de mines

(*) *Rapport sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou*, par E. MALLARD (*Ann. des mines*, 8e série, t. XIV, p. 267 et 280).

(**) *Ibidem*, p. 238.

« même chargés avec un des explosifs considérés comme « les plus sûrs, dans un point où le mélange d'air et « de grisou est inflammable (*).

« La sécurité est d'autant plus grande que l'explosif « est mieux et plus complètement bourré dans le trou « de mine ; elle est d'autant plus grande que la masse de « l'explosif est moins considérable. Toutes choses égales, « la sécurité dépend surtout de la température de déto- « nation de l'explosif (**).

La circulaire ministérielle du 1er août 1890, sanctionnant les conclusions de la Commission française, déclare qu'à la suite des travaux de celle-ci « on a reconnu la possi- « bilité de procurer à l'industrie des mines des explosifs « qui, s'ils ne sont pas susceptibles de donner une sécurité « absolue qu'on ne peut jamais obtenir en ces matières, « permettent d'atteindre un degré de sécurité auquel on « n'aurait pas cru jusqu'ici pouvoir arriver. » Elle interdit l'emploi de la poudre noire dans les mines à grisou ou les mines poussiéreuses dont les poussières sont inflammables. Elle laisse, d'ailleurs, aux exploitants toute latitude dans le choix des explosifs détonants quant à leur composition, à la condition que les produits de leur détonation ne contiennent aucun élément combustible, et que la température de détonation (facile à calculer d'après les formules données par la Commission, lorsqu'on connait le mode de décomposition de l'explosif) n'excède pas 1.900° pour les explosifs employés aux travaux de percement dans le rocher, et 1.500° pour les travaux en couche.

La circulaire maintient, d'ailleurs, toutes les mesures antérieurement prescrites concernant l'usage des explosifs dans les mines à grisou, notamment en ce qui concerne

(*) *Rapport sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou*, par E. Mallard (*Ann. des mines*, 8e série, t. XIV, p. 281.

(**) *Sur l'emploi des explosifs dans les mines à grisou*, par M. Mallard (*Bull. de la Société de l'Industrie Min.*, 2e série, t. III, 3e livr., 1889).

le boute-feu spécial, la constatation de l'absence du grisou avant le tirage, etc.

L'écart entre les températures de 1.900° et 1.500° et celle de 2.200° (température *apparente* d'inflammation du grisou) a pour but de parer, dans la mesure du possible, aux aléas que donnent des charges supérieures à celles des essais de la Commission, qui n'ont jamais dépassé 200 grammes, ainsi que les variations dans la fabrication de l'explosif et dans le mode d'explosion.

Après la publication des rapports résumant les travaux de la Commission française des substances explosives, il restait à la pratique à déterminer la valeur relative des explosifs indiqués par la Commission comme rentrant dans la catégorie des explosifs de sûreté ; la Commission française du grisou, réinstallée à titre provisoire par arrêté ministériel du 12 février 1887 et à titre permanent par décision du 4 février 1891, n'a cessé de suivre et d'encourager les recherches entreprises dans ce but par les compagnies minières, notamment celles de la C[ie] de Liévin, exécutées par M. Simon, en partie devant la Sous-Commission d'expériences de la Commission du grisou, et dont il a été rendu compte dans les *Annales* (*). Nous rappellerons brièvement ses importants résultats auxquels nous aurons à nous référer par la suite à plusieurs reprises.

L'essai des explosifs était fait au moyen d'un canon d'acier vertical placé au fond d'une cuve métallique de $1^{mc},750$ de capacité, fermée par une toile paraffinée ; les explosifs étaient éprouvés avec ou sans bourrage, dans des mélanges d'air et de gaz d'éclairage, ou de formène artificiel.

Sans bourrage, tous les explosifs de sûreté essayés ont allumé les mélanges d'air et de gaz d'éclairage (à par-

(*) *Ann. des mines*, 8e série, t. XVIII : « Note relative à des essais faits aux mines de Liévin sur les Explosifs de sûreté, par M. A. Simon, Ingénieur principal aux mines de Liévin.

tir de 8 p. 100), même avec de très faibles charges (55 à 60 grammes), bien que leur température de détonation fût de 1.638° (grisoutine F) ou même seulement de 1.500° (grisoutines B et M et explosif de Sevran-Livry), dont voici les compositions:

SUBSTANCES	GRISOUTINE F	GRISOUTINE B	GRISOUTINE M	Explosif Sevran-Livry
Nitro-glycérine	19,60 p. 100	11,76	»	»
Coton azotique	0,40	0,24	0,35	»
Coton octonitrique	»	»	»	9,5
Dynamite	»	»	19,65	»
Azotate d'ammoniaque	80,00	88,00	80,00	90,5
TOTAL	100,00	100,00	100.00	100,0
Température de détonation.	1.638°	1.500°	1.500°	1.500°

Avec bourrage de sable sec, simplement versé sur l'explosif, pour des charges de 60 grammes, l'inflammation des mélanges d'air et de gaz d'éclairage à 12 p. 100 a été empêchée par 2 centimètres de hauteur de sable pour l'explosif de Sevran-Livry, 5 centimètres pour les grisoutines F, B et M.

Des hauteurs de 4 à 6 centimètres de sable ont rendu ininflammables les mélanges de gaz à 10 p. 100, même pour des charges allant jusqu'à 240 grammes de grisoutine M.

La dynamite-gomme elle-même, avec une charge de 85 grammes, n'a pu enflammer le mélange d'air et de gaz d'éclairage sous une hauteur de sable de 30 centimètres seulement; alors que, dans les anciennes expériences de la Commission anglaise dirigées par sir F. Abel, 93 grammes de dynamite, bourrés avec 15 à 16 centimètres de sable, avaient allumé un mélange détonant d'air et de grisou.

Dans les mélanges d'air et de formène à 10 p. 100, *sans bourrage*, les explosifs à 1.500° n'ont pas allumé avec une charge de 55 à 60 grammes, mais ont provoqué

l'allumage avec une charge de 110 grammes ; *avec bourrage*, une charge de 240 grammes de grisoutine M a produit l'allumage sous 2 centimètres de sable, mais n'a plus allumé sous 6 centimètres.

Les expériences de la Cie de Liévin ont ainsi nettement démontré, d'une part, l'accroissement de danger quand la charge augmente, même avec des explosifs à basse température de détonation, d'autre part, l'influence énorme du bourrage sur l'accroissement de sécurité, l'absence d'inflammation étant produite par des surcharges de sable augmentant beaucoup moins vite que le poids d'explosif, ce qui permet de penser « que les charges les plus fortes « employées dans la pratique seront toujours rendues « inoffensives par une surcharge de sable relativement « faible et inférieure à 15 centimètres ».

Enfin des essais d'inflammation de poussières faites à Liévin au moyen d'un canon horizontal placé dans l'axe d'un long tuyau en fer de 0m,80 de diamètre, où les poussières inflammables étaient maintenues en suspension par un ventilateur ont montré que 120 grammes de grisoutine-gomme (70 p. 100 d'azotate d'ammoniaque, 29,10 p. 100 de nitro-glycérine et 0,90 de coton azotique) à température de détonation égale à 1.870° ont provoqué l'inflammation des poussières, tandis que 120 grammes des grisoutines à température de détonation égale à 1.500° n'ont pas enflammé les poussières.

Des essais ont été faits en octobre 1890 aux mines de Blanzy devant la Sous-Commission d'expériences de la Commission du grisou, en vue d'étudier l'inflammation des poussières seules par les explosifs de sûreté. Les explosifs étaient placés dans un canon en acier de 40 millimètres de diamètre intérieur et 450 millimètres de profondeur disposé au fond d'une galerie, la bouche légèrement inclinée vers le sol et dirigée vers une planche

située à peu de distance et sur laquelle était déposé un tas de poussière très inflammable.

Avec des charges de 300 grammes on n'a pas eu d'inflammation avec des grisoutines : grisoutine-couche, formée de 4,5 p. 100 de trinitronaphtaline et 95,5 p. 100 d'azotate d'ammoniaque (température de détonation, 1.486°), grisounite-roche formée de 8,5 p. 100 de trinitronapthaline et 91,5 p. 100 d'azotate (température de détonation, 1.891°); mais on a produit des flammes considérables (15 à 20 mètres de longueur), avec la grisoutine-gomme (29,5 p. 100 de nitro-glycérine et 0,5 de coton azotique avec 70 p. 100 d'azotate d'ammoniaque; température de détonation, 1.870°) et avec l'explosif Favier à 12 p. 109 de binitronaphtaline (température de détonation, 2.139°).

Ces expériences, confirmant de tous points celles de Liévin, montrent bien que c'est à juste titre que les mines à poussières inflammables sont assimilées, pour le tirage des coups de mine, aux mines grisouteuses par la réglementation française, la sécurité en présence des poussières, comme avec le grisou seul, étant d'autant plus grande que la température de détonation est plus basse.

Enfin, à la suite de quelques accidents survenus dans l'emploi de grisounite-couche Favier (95,5 p. 100 d'azotate d'ammoniaque et 4,5 de trinitronaphtaline) et attribués à des « explosions retardées », la Commission du grisou a entrepris l'étude des conditions dans lesquelles peuvent se produire les ratés dans l'emploi de ces explosifs à très basse température de détonation. Cette étude, commencée en 1896 (*), a donné lieu à des expériences

(*) *Accidents survenus par suite d'explosion tardive de cartouches de grisounite. Rapport présenté à la Commission du grisou*, par M. Sarrau, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, membre de l'Institut (*Annales des Mines*, 9e série, t. X, p. 126).

poursuivies en 1897 et 1898 à la poudrerie d'Esquerdes, et dont il vient d'être rendu compte dans un rapport de M. Sarrau, inséré aux *Annales des Mines*. Dans ces essais on a cherché à réaliser des décompositions fusantes de ces explosifs, soit par l'affaiblissement des amorces, soit par la compression de la matière explosive, qui diminue son aptitude à la détonation; la décomposition fusante a pu être obtenue par le premier procédé, mais sans jamais pouvoir être transformée en décomposition explosive. Des résultats semblables ont été obtenus par une méthode différente, par M. Schmerber(*), en diminuant l'aptitude à la détonation par l'accroissement de la proportion d'azotate d'ammoniaque.

Ces expériences prouvent, en résumé, que la décomposition fusante des explosifs à basse température de détonation peut se produire, très difficilement d'ailleurs, notamment sous l'action d'une amorce trop faible, mais que, dans aucun cas, elle ne se transforme en décomposition explosive, et que, par suite, le fonctionnement explosif des grisounites ne présente aucune particularité de nature à en restreindre l'emploi.

BELGIQUE.

Il n'a pas été fait d'essais des explosifs de sûreté par une Commission spéciale, mais seulement par les fabricants d'explosifs, notamment en 1890 à Marchienne, où d'intéressantes expériences ont été faites sur l'influence de la température extérieure et de la longueur du bourrage. Le règlement belge du 13 décembre 1895 sur l'emploi des explosifs ne prescrit pas explicitement l'emploi des explosifs de sûreté et se contente de le recommander aux directeurs de mines grisouteuses. Leur usage s'est néanmoins rapidement propagé en Belgique,

(*) *Génie civil*, 1898 : « Les explosions tardives ».

sous l'impulsion du service des mines, qui a fortement contribué à faire connaître aux exploitants les résultats des travaux exécutés à l'étranger et à les mettre au courant du calcul des températures de détonation d'après la méthode française (*). D'après un rapport que viennent de publier MM. Watteyne et Denoël, Ingénieurs du Corps des Mines belge (**), la quantité d'explosifs de sûreté employés dans les houillères de Belgique était déjà, en 1893, de 98.352 kilogrammes sur un total de 987.777 kilogrammes, soit 10 p. 100, et s'est élevé, en 1897, à 128.878 kilogrammes sur un total de 917.573 kilogrammes d'explosifs, soit 14 p. 100.

DÉSIGNATION des explosifs	Nitrate d'ammoniaque	Nitroglycérine	Nitrocellulose	Coton-collodion	Binitronaphtaline	Trinitronaphtaline	Bichromate de potasse	Colophane	Dextrine	Sucre cristallisé	Cellulose	Naphtaline	Chlorhydrate d'ammoniaque	Sulfate d'ammoniaque	Sulfate de magnésie	Ferrocyanure de potassium	Températures de détonation
Antigrisou Favier n° 1...	87,4	»	»	»	12,6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
id. n° 2...	80,9	»	»	»	11,7	»	»	»	»	»	»	»	7,4	»	»	»	[illegible]
Grisoutite de Matagne et forcite antigrisouteuse n° 2 de Baelen..........	»	44,0	»	»	»	»	»	»	»	»	12,0	»	»	»	44,0	»	[illegible]
Dahmenite A..............	91,3	»	»	»	»	»	2,2	»	»	»	»	6,5	»	»	»	»	[illegible]
Gélatine à l'ammoniaque A ou n° 2..............	67,0	30,0	3,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Forcite antigrisouteuse n° 1	70,0	29,4	0,6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Antigrisou d'Arendonck...	72,0	27,0	1,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Gélignite à l'ammoniaque.	70,0	29,3	»	»	»	»	0,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Dynamite de sûreté........	75,0	24,0	1,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fractorite................	90,0	»	»	»	»	»	2,0	4,0	4,0	»	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Flammivore...............	85,0	»	»	10,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	5,0	»	»	[illegible]
Nitroferrite n° 1..........	93 à 94	»	»	»	»	2	»	»	»	3 à 4	»	»	»	»	»	2	[illegible]

(*) *Etude sur les explosifs de sécurité en usage dans les mines grisouteuses*, par J. HENROTTE, Inspecteur principal du travail au Ministère de l'Industrie et du Travail (*Ann. des Mines de Belgique*, t. I, 1896).

(**) *Emploi des explosifs dans les mines de houille de Belgique pendant l'année* 1897; statistique comparative dressée d'après les documents officiels, suivie d'une *Note sur les Explosifs de sûreté*, par Victor WATTEYNE, Ingénieur principal, Directeur des Mines à Bruxelles et Lucien DENOEL, Ingénieur au Corps des Mines à Bruxelles (*Ann. des Mines de Belgique*, t. III, 1898).

Le tableau précédent indique les principaux explosifs de sûreté employés en Belgique, d'après le rapport de MM. Watteyne et Denoël; nous y joignons les températures de détonation à l'air libre, calculées par MM. Henrotte, Heise, etc.

ANGLETERRE.

Les expériences de la Commission officielle pour l'étude des explosifs dans des atmosphères grisouteuses, commencées en 1892, ont été terminées à la fin de 1896. L'appareil installé aux houillères de Hebburn se composait d'un tube métallique de 30^{m},78 de longueur et 0^{m},91 de diamètre, fermé d'un côté par un fond plein, de l'autre par un disque en papier. Près du fond on plaçait un canon mobile contenant l'explosif, et l'on envoyait du gaz d'éclairage ou du grisou naturel mélangés à l'air par un ventilateur.

Pour les essais avec poussières, celles-ci étaient placées en avant du canon sur un carton légèrement incliné vers celui-ci. Des regards placés le long du tube permettaient d'observer l'effet de l'explosion.

D'après les essais faits sur des mélanges d'air et de grisou ou de gaz d'éclairage, le rapport officiel conclut que les explosifs de sûreté, tels que la « bellite, la sécurite, l'ammonite, etc. », enflamment plus difficilement les mélanges gazeux que la poudre, mais ne peuvent cependant pas être considérés comme présentant une sécurité absolue ; — que les résultats variables obtenus avec un même explosif paraissent tenir aux variations de fabrication ou de composition ; — qu'il ne faut jamais perdre de vue que les risques d'inflammation et d'explosion ne sont que diminués, mais non supprimés, et qu'il est dès lors essentiel que les précautions prises actuellement

pendant le tirage à la poudre soient maintenues avec les nouveaux explosifs.

La Commission anglaise constate, de plus, que les explosifs de sécurité enflamment beaucoup moins facilement les poussières de charbon que ne le fait la poudre noire.

Comme remarques spéciales, elle note que les mélanges grisouteux sont plus facilement enflammés par les détonateurs au fulminate que les mélanges d'air et de gaz d'éclairage, et que, contrairement à l'opinion de la Commission française, les détonations incomplètes n'augmentent pas le danger que présente un produit.

Sur ce dernier point, qui offre peu d'intérêt d'ailleurs, au point de vue des précautions à prendre, le seul phénomène de ce genre cité par la Commission française est l'inflammation du grisou par une cartouche de dynamite brûlant au lieu de détoner, lorsqu'elle est allumée par une flamme au lieu d'être excitée par un détonateur. Ce fait a été nettement constaté (*) et reste acquis. Quant à l'effet sur le grisou des détonations incomplètes des explosifs de sûreté, il ne nous paraît pas possible d'émettre une conclusion aussi générale que celle de la Commission anglaise, cet effet dépendant essentiellement du mode de décomposition de l'explosif, qui peut être très variable d'un essai à l'autre.

On voit que, dans l'ensemble, les expériences de la Commission anglaise ne contredisent ni ne complètent les résultats acquis en France. On peut donc s'étonner que l'appréciation du degré de sécurité des explosifs à employer dans les houillères grisouteuses, conformément à l'ordonnance anglaise promulguée le 4 juin 1897, soit basée non plus sur la nature de l'explosif, comme dans la réglementation française, mais exclusivement sur des essais pra-

(*) *Ann. des Mines*, 8e série, t. XIV, *loc. cit.*, p. 274.

tiques effectués dans des conditions d'une efficacité contestable (*) par une Commission officielle instituée à Woolwich. Voici en effet comment se pratiquent ces essais : On prend un poids de l'explosif, équivalant comme force à 2 onces (56,7 grammes) de dynamite, ou 6 onces (170,1 grammes) de poudre RFG², cette force étant appréciée d'après la méthode connue de Trauzl, basée sur l'augmentation de volume d'une cavité pratiquée dans un bloc de plomb par l'explosion d'un poids déterminé de l'explosif qu'on y fait détoner. Le poids d'explosif est placé dans un canon sous un bourrage de 9 pouces (23 centimètres) de longueur d'argile sèche et pulvérisée, et on le fait détoner au milieu d'un mélange explosif d'air et de gaz d'éclairage sans poussières ; s'il n'y a pas plus de deux épreuves défavorables sur quarante, l'explosif est autorisé (admitted) dans les houillères dangereuses.

Si l'on se reporte aux résultats obtenus avec bourrage dans les essais analogues effectués à Liévin, où 30 centimètres de sable, versés et non tassés, ont rendu inoffensive une charge de 85 grammes de dynamite-gomme, il parait vraisemblable que tous les explosifs détonants sans exception pourront être admis d'après la règle anglaise ; et, de fait, la liste des explosifs autorisés par les ordonnances anglaises contient, à côté d'explosifs réellement de sûreté, comme la dahménite A et l'ammonite, des composés comme la nobelgelignite (tenant 54 à 63 p. 100 de nitroglycérine, 3 à 5 p. 100 de coton nitré, 26 à 34 de salpêtre, et 6 à 9 de sciure de bois avec ou sans 1/2 p. 100 de craie) dont les effets sur le grisou doivent différer extrêmement peu de ceux de la dynamite elle-même, qui l'enflamme avec une

(*) Cf. *Note sur les Explosifs de sûreté*, par Victor WATTEYNE, Inspecteur principal, Directeur des Mines, à Bruxelles, et Lucien DENOEL, Ingénieur au Corps des Mines, à Bruxelles (*Ann. des Mines de Belgique*, t. III, p. 805).

grande facilité ; on relève même, parmi les explosifs admis, des composés, comme « l'Elephant Brand Gun powder », qui ne diffèrent pas sensiblement de la poudre noire ordinaire (*).

Il ne paraît donc pas que la réglementation anglaise marque un progrès quelconque dans la question des explosifs de sûreté ; il semble même qu'elle ait par trop cédé au désir de conserver dans les mines grisouteuses l'emploi d'explosifs doués d'une force considérable et d'un rendement commercial plus élevé que les explosifs réellement sûrs.

AUTRICHE.

La Commission autrichienne du grisou, qui a fonctionné de 1885 à 1891, et dont nous avons analysé ici même les travaux (**), n'avait fait que peu de recherches sur les explosifs de sûreté ; elle s'était surtout attachée, dans les expériences effectuées à Polnisch-Ostrau et à Segengottes, à étudier l'inflammation des poussières avec ou sans addition de grisou au moyen de divers explosifs brisants, et avait conclu, comme dans les expériences de Liévin, à l'inflammabilité des poussières par les explosifs brisants en cartouches libres ou bourrés avec des poussières, et à l'influence remarquable de bourrages de sable, même de très peu d'épaisseur.

Ces recherches ont été complétées ultérieurement par les expériences de deux nouveaux comités, institués en 1894 et constitués à titre permanent depuis 1895, l'un à Mährisch-Ostrau, l'autre à Segengottes, par des fonctionnaires de l'administration des mines et des directeurs

(*) *Revue des progrès dans l'industrie des Explosifs*, par E. Ackermann, Ingénieur civil des Mines (*Revue de Chimie industrielle*, novembre 1898).
(**) *Annales des Mines*, 1892 (livr. de février).

de houillères ; les résultats viennent d'en être publiés (*).

D'après les publications de ces travaux, qui ne sont pas encore terminés d'ailleurs, le principe des expériences et les résultats acquis jusqu'à ce jour sont les suivants :

On fait détoner à l'air libre, suspendues au toit ou placées sur le sol des galeries, à nu ou recouvertes de poussières de houille, des charges croissantes de chaque explosif étudié jusqu'à ce que l'on provoque l'inflammation du mélange à 10 p. 100 de grisou, ou que l'on atteigne la limite des charges usuelles.

Le comité de Mährisch-Ostrau a vérifié, ainsi que nous l'avions déjà constaté en France, que la dynamite et les gélatines-dynamites enflamment les poussières seules et, de plus, que le bourrage à l'eau n'a aucune supériorité sur le bourrage à l'argile ou à la mousse humide.

Les principales conditions que doit remplir un explosif de sûreté, d'après ce comité, sont les suivantes : ne pas donner de flammes apparentes lors de la détonation ; ne renfermer aucune matière inflammable dans l'enveloppe de la cartouche ; ne pas allumer par explosion à l'air libre, aux charges les plus élevées usitées en pratique, les mélanges de 7 à 10 p. 100 de grisou et de poussières de charbon.

Celui qui, d'après les expériences autrichiennes, répond le mieux à ces conditions est la *progressite*, formée de 95 p. 100 d'azotate d'ammoniaque et 5 p. 100 de chlorure d'aniline. Ont été trouvés également satisfaisants : la *wetter dynamite* à la soude (précédemment étudiée par l'ancienne Commission autrichienne) et l'*antigrisou Favier n° 0* (à 80,57 p. 100 d'azotate d'ammoniaque, 13,07 p. 100 de chlorhydrate d'ammoniaque et 6,36 p. 100 de binitronaphtaline). Tous ces explosifs détonant à l'air

(*) *Mittheilungen der ständigen Comites zur untersuchung von schlagwetter fragen in Mährisch-Ostrau und Segengottes*, 1894-1896 (publié par le ministère de l'Agriculture, Vienne, 1898).

libre n'ont pas provoqué d'inflammation avec des charges allant jusqu'à 500 grammes, excitées par des détonateurs allant jusqu'à 4 grammes de fulminate.

Ont donné de moins bons résultats :

l'antigrisou Favier nº II, à........ { 81,49 p. 100 d'azotate d'ammoniaque
7,40 p. 100 de chlorhydrate d'ammoniaque
11,11 p. 100 de binitronaphtaline

qui, sur seize essais, a donné deux explosions avec des charges, l'une de 150 grammes, l'autre de 300 grammes ;

un explosif à 95 p. 100 d'azotate d'ammoniaque et 5 p. 100 de résine, qui enflamme le grisou à 7 p. 100 mélangé de poussières à partir de la charge de 100 grammes;

l'explosif à 90 p. 100 d'azotate d'ammoniaque et 10 p. 100 de binitrobenzine, qui enflamme le même mélange à partir de 50 grammes.

Au cours de ces essais, l'usage des explosifs de sûreté a été reconnu officiellement par le règlement autrichien du 27 octobre 1895, qui, sans spécifier leur composition, a prescrit leur emploi dans les cas suivants :

« Si, au cours de la visite qu'il doit faire avant le tirage des coups de mine, le boute-feu constate l'absence de poussières, mais reconnaît la présence de 1,5 p. 100 de grisou dans le courant d'air, il ne doit miner qu'avec des explosifs de sûreté.

« Lorsque la teneur en grisou atteint 2,5 p. 100 dans « le courant d'air ou même en un point quelconque du « chantier, le tirage des coups de mine est strictement « interdit. »

« Si, dans son inspection, le boute-feu ne trouve pas de grisou, mais constate dans le courant d'air, sur le sol ou les parois des galeries, ou sur les boisages, la présence de poussières ne pouvant être entièrement balayées par

l'arrosage, on ne pourra miner qu'avec des explosifs de sûreté.

« Si l'on constate à la fois la présence de poussières et une teneur en grisou atteignant 1,5 p. 100, le tirage des coups de mine est strictement interdit. »

Les résultats obtenus par la Commission autrichienne sont pleinement d'accord avec la théorie française de la température de détonation. En effet, les explosifs reconnus les plus sûrs ont certainement de très basses températures de détonation; l'antigrisou Favier n° 0 diffère très peu de l'antigrisou Favier n° 3 à 13 p. 100 de chlorhydrate d'ammoniaque et 5 p. 100 de trinitronaphtaline dont la température de détonation est de 1.420°, d'après les calculs de M. Henrotte(*), et la progressite, d'après nos calculs, à une température de détonation de 1.690° (**).

Les explosifs reconnus moins sûrs ont, au contraire, des températures de détonation notablement plus élevées. C'est ainsi que l'explosif à 10 p. 100 de binitrobenzine a une température de 1.900° environ (d'après Mallard), l'explosif à 5 p. 100 de résine doit avoir une température de détonation très voisine de la westfalite (1.806° d'après les calculs de M. Heise; voir plus loin); quant à l'antigrisou Favier n° II, sa température de détonation atteint 2.040°, d'après les calculs de M. Henrotte.

Il y a seulement lieu de remarquer que les charges d'explosifs les plus sûrs qui n'ont pas enflammé le grisou en détonant à l'air libre sont notablement supérieures aux charges d'explosifs à températures de détonation de 1.500° essayées par la Commission française, et qui ont été, au maximum, de 200 grammes détonant à l'air libre, les

(*) *Ann. des Mines de Belgique*, 1896.

(**) Quant à la wetterdynamite à la soude (composée de 52 p. 100 de nitroglycérine, 14 p. 100 de kieselguhr et 34 p. 100 de carbonate de soude cristallisée à 10 molécules d'eau), son mode de décomposition est trop incertain pour qu'on puisse calculer d'une façon rigoureuse sa température de détonation.

dispositions de l'appareil de Sevran-Livry n'ayant pas permis de dépasser cette charge. Dans les expériences de Liévin, des charges de 110 grammes d'explosifs à 1.500° avaient allumé le grisou, mais étaient placées dans un canon sans bourrage et détonaient dans une capacité de faible volume. Il semblerait donc que les essais faits dans un canon sans bourrage donnent une charge limite très inférieure aux détonations à l'air libre ; nous allons voir que les expériences faites en Allemagne conduisent à un résultat absolument contraire.

Enfin, en ce qui concerne les expériences poursuivies en Autriche, nous signalerons les intéressants essais exécutés par M. Sierche, Directeur technique de la fabrique de dynamite de Presbourg, qui a pris des photographies instantanées des flammes produites par différents explosifs et constaté nettement la diminution progressive des flammes données par un même poids d'explosifs composés d'un corps combustible et d'azotate d'ammoniaque, au fur et à mesure que la proportion de ce dernier augmente (*).

ALLEMAGNE.

Depuis les travaux de la Commission prussienne du grisou, poursuivis, de 1885 à 1887, à la mine König, de Neun-Kirchen (Saarbruck) et résumés, dans le rapport de Mallard de 1888, de nombreuses expériences ont été faites dans le même bassin en vue de contrôler et compléter les études de la Commission française; les plus importantes sont celles qui viennent d'être publiées par M. le Bergassessor Heise (**).

(*) Les clichés de ces épreuves ont été reproduits par M. Schmerber dans son article : *Les explosifs et le grisou en Autriche* (*Génie civil*, 1897, t. XXXII, 33, p. 17 et 318.

(**) Les expériences ont été publiées dans *Glückauf*, Essen, 1898, n° 34 à 37.

Nous résumerons en quelques mots les expériences antérieures, poursuivies de 1888 à 1894.

De 1888 à 1891, des études ont été continuées à la mine König, sous la direction de M. Lohmann, conseiller impérial des mines ; les explosifs étaient placés dans un mortier d'acier de 55 millimètres de diamètre et entourés d'une gaine en bois de façon à racheter la différence de diamètre des cartouches et de l'âme du mortier. Les essais étaient faits avec ou sans bourrage, dans une atmosphère poussiéreuse, avec ou sans grisou. Les explosifs ainsi reconnus les plus sûrs furent la carbonite, la sécurite, la roburite et les explosifs Favier n°s 1 et 2, qui purent détoner sous la charge de 250 grammes sans bourrage, avec grisou, sans provoquer d'inflammation.

En 1894, des essais furent entrepris (sur l'initiative de la Société de prévoyance des mineurs de Westphalie de Bochum), dans la galerie Schalke de la mine Consolidation, près Gelsenkirchen, sous la direction de M. Winkhaus. Deux mortiers en acier, percés de trous de 460 millimètres de profondeur et 55 millimètres de diamètre, étaient placés légèrement inclinés vers le toit, au fond d'une galerie de 37 mètres de long, ayant une section elliptique de $1^m,85 \times 1^m,35$. On pouvait isoler devant les mortiers, au moyen d'un obturateur en papier, une capacité close de 10 mètres cubes, dans laquelle on introduisait une quantité déterminée de grisou, des poussières pouvant d'ailleurs être mises en suspension dans l'atmosphère au moyen d'un ventilateur. Toutes les expériences ont été effectuées sans bourrage. De tous les explosifs essayés, ce sont la roburite n° I (à 89 p. 100 de nitrate d'ammoniaque, 7 de binitrobenzol et 4 de permanganate de potasse) et la carbonite pour charbon (25 p. 100 de nitroglycérine, 75 de poudre neutre), qui se sont le mieux comportées ; des charges de $600^{gr},00$ de ces explosifs n'ont pas produit d'inflammation dans une atmosphère à 7 p. 100 de grisou avec poussière.

M. Winkhaus s'est également attaché, en partant de la théorie française, à déterminer pour des mélanges d'azotate d'ammoniaque et de binitrobenzol (type bellite), quelle était la charge limite provoquant l'inflammation soit de poussières seules, soit de mélanges à 7 p. 100 de grisou, pour des explosifs à température de détonation décroissante.

Le tableau suivant résume ces essais.

COMPOSITION du MÉLANGE		RÉSULTATS DES ESSAIS			TEMPÉRATURE de détonation	FORCE de L'EXPLOSIF (Élargissement de la capacité d'une cavité pratiquée dans un bloc de plomb produite par 10 grammes d'explosif)
		Cartouches avec enveloppes paraffinées	Cartouches sans enveloppes paraffinées			
Azotate d'ammoniaque	Binitrobenzol	Poussières seules	Poussières seules	7 p. 100 de grisou		
		gr.	gr.	gr.		
83 p. 100	17 p. 100	I. 125	I. 225	I. 50	2.200°	470
86	14	I. 150	I. 300	I. 100	2.047	457
89	11	I. 225	I. 500	I. 150	1.870	456
92	8	I. 250	N. 500	I. 350	1.692	365
95,25	4,75	N. 500	N. 500	I. 500	1.482	290

Nota. I = inflammation. N = non-inflammation.

Les résultats obtenus confirment d'une façon remarquable la théorie française, la charge limite s'élevant progressivement au fur et à mesure que la température de détonation s'abaisse. La sécurité (qui n'est pas absolue puisque l'explosif à 4,75 p. 100 de binitrobenzol a encore allumé le grisou sous une charge n'excédant pas les limites de la pratique) n'est malheureusement augmentée qu'au détriment de la puissance de l'explosif. Il est à noter que, les charges limites des explosifs à basse température de détonation sont très supérieures aux charges limites obtenues à Liévin, où l'on opérait cependant dans des conditions analogues (tirage au canon sans bourrages); l'écart tient vraisemblablement à la beaucoup plus grande

capacité de la chambre d'explosion dans les expériences de Gelsenkirchen.

En 1897, M. le Bergassessor Heise a continué et généralisé les expériences de M. Winkhaus dans les installations de Gelsenkirchen; M. Heise a obtenu des résultats qu'il considère comme très différents de ceux obtenus par la Commission française et qui lui ont servi de point de départ à une théorie nouvelle pour apprécier le degré de sécurité des explosifs.

Les expériences de M. Heise ont porté sur les explosifs d'un usage courant dans les mines de Westphalie, énumérés dans le tableau ci-après, résumant les principales données du mémoire de M. Heise et donnant pour chaque explosif : 1° sa composition; 2° l'équation probable de sa réaction explosive, en admettant, conformément aux expériences de la Commission française, que les sels métalliques autres que les azotates restent inaltérés et que, dans le cas où il y a excès de corps combustible, l'oxygène se porte d'abord sur le carbone pour le transformer en CO et que l'excédent se répartit également entre l'hydrogène et CO pour donner H^2O et CO^2; 3° la chaleur dégagée par la détonation de 1 kilogramme d'explosif; 4° la température théorique de détonation, calculée d'après les règles de la Commission française; 5° les principaux résultats des essais de M. Heise.

Ces essais ont été faits suivant le programme suivant.

Dans une première série, les explosifs étaient placés dans un mortier sans bourrage, de façon à reproduire les conditions d'une mine faisant canon :

1° en présence de poussières seules ;
2° — — et de 2,5 p. 100 de grisou ;
3° — — et de 6,5 p. 100 —
4° — — et de 8 p. 100 —

EXPLOSIF	COMPOSITION	ÉQUATION de la réaction explosive	CHALEUR DÉGAGÉE par 1 kilogramme d'explosif	TEMPÉRATURE THÉORIQUE de détonation	CHARGES MAXIMA N'AYANT PAS ENFLAMMÉ LE MÉLANGE EXPLOSIBLE DANS LES ESSAIS — au mortier: Poussières seules ou avec 2,5 p. 100 de grisou	au mortier: Poussières avec 6,5 p. 100 de grisou	au mortier: Poussières avec 8 p. 100 de grisou	à l'air libre: Poussières avec 8 p. 100 de grisou	TRAVAIL MAXIMUM fourni par 1 kilogramme d'explosif	CHARGES CORRESPONDANT à 2.500 kilogrammètres	ÉLARGISSEMENT DU BLOC DE PLOMB obtenu pour 10 gr. d'explosif (moy. des ess.)	POUVOIRS BRISANTS (élargissement de la cavité du bloc de plomb pour une charge égale à celle de la colonne 11 et calculés par 11 et 12)	DEGRÉ DE SÉCURITÉ D'APRÈS M. BEISE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	P. 100		calories	degrés centigrades	gr.	gr.	gr.	gr.	kilogrammèt.	gr.	centimètres cubes	centimètres cubes	
Carbonite pour charbon et wetter-dynamite de Wittenberg	Nitroglycérine .... 25 Salpêtre.......... 34 Tan pulvérisé (à 2,5 p. 100 d'eau). 39,5 Nitrate de baryte.. 1,0 Carbonate de soude. 0,5	$144C^6H^{10}Az^6O^{18} + 880KAzO^3$ $+ 596C^6H^{10}O^5 + 363H^2O$ $+ 10BaAz^2O^6 + 12Na^2CO^3 =$ $1648CO^2 + 2342CO + 1647H^2O$ $+ 2416H^2 + 877Az^2$ $+ 440K^2CO^3 + 10BaCO^3$ $+ 12Na^2CO^3$	628	1845°	900	900	900	600	231,000	10,82	206	233 (223)	1(a)
Carbonite n° I	Nitroglycérine .... 25 Nitrate de soude... 30,5 Farine.......... 37,0 Eau (humidité).... 2,5 Bichromate de potasse.......... 5,0	$32C^6H^{10}Az^6O^{18} + 210NaAzO^3$ $+ 134C^6H^{10}O^5 + 82H^2O$ $+ 10K^2Cr^2O^7 =$ $376CO^2 + 515CO + 376H^2O$ $+ 536H^2 + 201Az^2$ $+ 105Na^2CO^3 + 10K^2Cr^2O^7$	652	1868°			725	400	239,000	10,46	231	246 (241)	1(b)
Carbonite n° II	Nytroglycérine .... 30,0 Nitrate de soude... 24,5 Farine.......... 38,0 Eau (humidité).... 2,5 [illegible]	$8C^6H^{10}Az^6O^{18} + 34NaAzO^3$ $+ 28C^6H^{10}O^5 + 16H^2O$ $+ 2K^2Cr^2O^7 =$ $70CO^2 + 128CO + 76H^2O$ [illegible]	633	1821°			735	300	232,000	10,78	246	284 [illegible]	1(c)

Explosif de sûreté de Cologne-Rothweiler	Nitrate d'ammoniaque ..... 93,0 Huile végétale .... 4,9 Soufre ..... 1,2 Nitrate de baryte.. 0,9	[illegible]AzH^4AzO^3 + [illegible] + $11S$ + $BaAz^2O^6$ = $70CO^2$ + $784H^2O$ + $338Az^2$ + $63O^2$ + $11SO^2$ + $BaCO^3$	725	1774°	500	400	200	50	265,000	9,43	342	385 (323)	II(b)
Dahménite A	Nitrate d'ammoniaque ..... 91,3 Naphtaline ..... 6,5 Bichromate de potasse 2,2	$151AzH^4AzO^3$ + $7C^{10}H^8$ + $K^2Cr^2O^7$ = $70CO^2$ + $313H^2O$ + $17H^2$ + $151Az^2$ + $K^2Cr^2O^7$	914	2064°	550	450	450	50	341,000	7,33	444	320 (326)	II(a)
Dahménite A (grenée)	*Idem.*		914	2064°			700	500	341,000	7,33	338	254 (248)	I
Roburite n° I	Nitrate d'ammoniaque ..... 87,5 Binitrobenzol ..... 7,0 Permanganate de potasse ..... 0,5 Sulfate d'ammoniaque 5,0	$431AzH^4AzO^3$ + $16C^6H^4Az^2O^4$ + K^2MnO^4 + $15SO^4Az^2H^8$ = $98CO^2$ + $895H^2O$ + $134O^2$ + $447Az^2$ + K^2MnO^4 + $15SO^4Az^2H^8$	612	1616°	450	450	300	100	220,000	11,36	321	368 (365)	II(b)
Roburite n° I (grenée)	*Idem.*		612	1616°			600		220,000				
Westphalite	Nitrate d'ammoniaque ..... 91 Salpêtre ..... 4 Résine 5	$687AzH^4AzO^3$ + $24KAzO^3$ + $10C^{20}H^{30}O^2$ = $188CO^2$ + $1524H^2O$ + $699Az^2$ + $10SO^2$ + $12K^2CO^3$	749	1806°	550	450	350	50	274,000	9,12	389	368 (355)	II(b)
Gélatine-dynamite	Nitroglycérine ..... 62,5 Nitrocellulose ..... 2,5 Nitrate de soude ..... 25,0 Cellulose ..... 8,75 Carbonate de soude 0,75			2984°	30		8	15	491,000		556		
Dynamite à la guhr	Nitroglycérine ..... 75 Kieselguhr 25			2907°			7	5	427,000		473		

Dans une seconde série, on faisait détoner à l'air libre les cartouches ficelées en un seul paquet et placées sur une planche, dans une atmosphère chargée de poussières et contenant 8 à 8,25 p. 100 de grisou.

Les cartouches étaient amorcées dans tous les cas avec des détonateurs contenant 2 grammes de fulminate de mercure, et, après introduction du grisou, on mettait en suspension, dans la chambre d'expériences, 2 litres de poussières de charbon gras.

Les colonnes 6 à 9 du tableau ci-joint donnent les charges maxima qui n'ont pas produit d'inflammation en détonant soit dans le mortier, soit à l'air libre.

On voit que, sauf pour les explosifs brisants ordinaires, la charge limite est toujours plus faible dans les essais à l'air libre que dans les essais au mortier. Ce résultat confirme bien les indications de la Commission française, qui considérait la détonation à l'air libre comme un critérium de la sécurité, plus rigoureux que le tirage au mortier; M. Heise donne cependant la préférence au tirage au mortier en raison de la fréquence des détonations incomplètes à l'air libre pouvant dérouter l'expérimentateur.

M. Heise pense en effet que, en raison de la fixité du mortier et de sa résistance à la pression des gaz, la décomposition des explosifs y est plus complète que dans la détonation à l'air libre, la matière pouvant être dans ce cas projetée sans décomposition par la force de l'explosion. En fait, un certain nombre d'essais exécutés à l'air libre paraissent bien, d'après le bruit faible de l'explosion et l'odeur particulière des fumées, avoir donné des décompositions incomplètes, et les coups tirés dans ces conditions n'ont pas enflammé le grisou avec des charges relativement fortes; en sorte que, dans les essais à l'air libre, ce sont les explosifs qui ont la plus grande aptitude à la détonation qui se sont, en général, montrés les moins sûrs.

M. Heise a d'ailleurs fait une série d'expériences spé-

ciales pour trancher cette question. Il place sur une forte plaque de fer deux rondelles de plomb superposées de 40 millimètres de diamètre et de 30 millimètres de hauteur. Sur le bloc supérieur, on dispose deux rondelles d'acier de même diamètre et d'une épaisseur de 4 millimètres, et, par dessus, la cartouche d'explosif à essayer entourée d'un tube en fer-blanc très mince. On fait détoner la cartouche, ainsi préparée et amorcée, dans un mélange explosif de grisou; l'enveloppe de fer-blanc est détruite, et la déformation des blocs de plomb permet, dans une certaine mesure, d'apprécier la force développée par l'explosif, qui se trouve dans des conditions sensiblement les mêmes qu'à l'air libre. On constate ainsi que la gélatine-dynamite par exemple qui, d'après les essais faits d'après la méthode de Trauzl (colonne 12 du tableau ci-joint), est sensiblement plus forte que la dynamite ordinaire, donne cependant, dans le mode d'essai précédent, un aplatissement des blocs de plomb moitié moindre que celui qu'on obtient avec la dynamite ordinaire. M. Heise explique cette différence en admettant que la gélatine-dynamite ne détonne qu'incomplètement. Or, si l'on se reporte aux colonnes 8 et 9 du tableau, on voit que, tandis que dans les essais au mortier, les charges limites n'ayant pas allumé le grisou sont sensiblement les mêmes pour ces deux explosifs, au contraire, dans les essais faits à l'air libre, la charge limite est trois fois plus forte pour la gélatine que pour la dynamite; M. Heise en conclut que l'épreuve à l'air libre n'est pas de nature à donner le degré exact de sécurité des explosifs et est inférieure à l'essai fait au mortier.

Pour les autres explosifs comparés d'après la même méthode, les résultats ont été beaucoup moins nets qu'avec les deux explosifs précités. La classification, au point de vue de la sécurité des explosifs essayés par M. Heise, ne diffère guère, en effet, que l'on prenne comme bases les

essais à l'air libre, ou la méthode du mortier ainsi que le montre la comparaison des colonnes 8 et 9 du tableau; il nous paraît donc difficile de condamner l'une des méthodes au profit de l'autre, uniquement sur les résultats donnés par deux explosifs qui, avec les charges pratiques, sont à peu près aussi dangereux l'un que l'autre dans les mines à grisou.

L'état physique de l'explosif paraît influer beaucoup sur la charge limite, surtout dans la détonation à l'air libre : c'est ainsi que la dahménite A grenée (c'est-à-dire divisée, après forte pression, en grains de la grosseur de la poudre de chasse) a une charge limite décuple de la dahménite A pulvérulente, la roburite grenée une charge limite double de la roburite pulvérulente.

La caractéristique des recherches de M. Heise est sa théorie sur le *pouvoir brisant;* en voici le principe. Si l'on considère un explosif placé dans une cavité pratiquée dans un bloc de plomb et bourré très légèrement, la dilatation de cette cavité par l'explosion sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus considérable que celle-ci sera plus rapide. Si donc l'on prend des poids des différents explosifs calculés d'après les chaleurs qu'ils dégagent, de façon qu'ils représentent la même puissance de travail (2.500 kilogrammètres, par exemple), en faisant détoner ces poids dans des cavités de même volume sous un bourrage identique, la dilatation de la cavité représentera, dans une certaine mesure, le pouvoir brisant de l'explosif considéré.

Pour obtenir ce pouvoir brisant, M. Heise se sert de blocs cylindriques de plomb raffiné de 240 millimètres de hauteur et 140 millimètres de diamètre extérieur, percés d'un trou cylindrique de 25 millimètres de diamètre et 145 millimètres de profondeur.

Les explosifs, soigneusement pesés, sont moulés en petites cartouches dans une feuille d'étain, tassés au fond

de la cavité et recouverts de 50 centimètres cubes de sable sec, simplement versé sur l'explosif; la détonation est produite par des capsules de 2 grammes de fulminate de mercure. La dilatation de la cavité après explosion est mesurée avec une éprouvette graduée et de l'eau.

En classant les explosifs expérimentés, d'une part d'après les charges limites n'enflammant pas le grisou, d'autre part d'après le pouvoir brisant ainsi évalué, M. Heise a constaté que les explosifs sûrs, qu'il appelle de 1[re] classe et qui ne donnent au mortier aucune inflammation du mélange à 8 p. 100 de grisou avec des charges d'au moins 700 grammes, ont des pouvoirs brisants bien inférieurs à ceux des explosifs qui ont enflammé le mélange avec des charges supérieures à 450 grammes et que M. Heise appelle explosifs de sûreté de 2[e] classe.

Tous les explosifs trouvés sûrs par M. Heise ont des températures de détonation inférieures à 2.200°; mais les charges limites de chaque explosif ne sont nullement en rapport avec la température de détonation, tandis qu'elles sont dans l'ensemble en raison inverse du pouvoir brisant, et, pour un même explosif comme la dahménite A, augmentent nettement lorsqu'on diminue le pouvoir brisant par une modification de l'état physique, par le grenage par exemple. M. Heise conclut donc au rejet de la théorie française, exclusivement basée sur la température de détonation, à laquelle il fait les objections suivantes:

1° La température de détonation étant indépendante de la quantité d'explosif, la théorie de la Commission française n'explique pas pourquoi tous les explosifs connus jusqu'ici ne présentent de sécurité qu'en deçà d'une certaine limite de charge;

2° Si cette température de détonation peut constituer un critérium admissible pour des explosifs composés des mêmes éléments dont on fait seulement varier les pro-

portions, elle ne permet pas de comparer entre eux, au point de vue de la sécurité, des explosifs formés d'éléments différents, puisque la dahménite A dont la température de détonation est de 2.064°, s'est montrée très sûre, alors que des mélanges à température de détonation bien plus basse comme le mélange de 30 p. 100 de nitroglycérine gélatinée et 70 p. 100 de nitrate d'ammoniaque (dont la température de détonation est d'environ 1.850°) enflamment les poussières seules avec une charge de 200 grammes.

Sans donc méconnaitre l'importance de la température de détonation, M. Heise estime qu'elle ne peut suffire à elle seule pour définir la sécurité d'un explosif; on ne peut pas davantage prendre pour l'apprécier les quantités de chaleur dégagées, puisque la dahménite A grenée, qui présente un haut degré de sécurité, développe une quantité de chaleur relativement considérable. On est donc amené, d'après M. Heise, à adopter comme critérium de la sécurité d'un explosif son *pouvoir brisant*, et il explique l'influence de celui-ci en remarquant que la détonation d'un explosif brisant peut comprimer adiabatiquement l'atmosphère environnante de façon à l'échauffer assez pour que le mélange grisouteux s'enflamme; le danger sera naturellement encore plus grand, si à la chaleur de compression s'ajoute celle des gaz de l'explosion, lorsqu'ils atteignent une température très élevée. De là résulte que, ainsi que le montre le tableau ci-joint, les explosifs les moins sûrs sont les plus brisants et que le danger croît avec la charge, la pression développée sur le milieu ambiant augmentant avec la quantité de gaz produite par l'explosion.

M. Heise conclut en définitive de ses expériences qu'il ne faut pas se préoccuper exclusivement d'abaisser la température de détonation, ce qui ne peut être obtenu qu'au détriment de la force de l'explosif, et qu'il convient, tout en restant dans des limites admissibles pour la tem-

pérature de détonation, d'abaisser autant que possible le pouvoir brisant.

La théorie de l'inflammation d'un mélange grisouteux par compression adiabatique n'appartient pas en propre à M. Heise : elle a été en effet nettement indiquée par l'un des membres de la Commission française, M. Le Chatelier, dans son ouvrage sur *le Grisou*, où il s'exprime en ces termes (p. 145) :

« Le travail de la détente d'un explosif détonant à l'air libre est dépensé au premier moment en produisant dans l'air ambiant une onde comprimée, qui se propage indéfiniment en s'amortissant progressivement par le fait de la production de chaleur résultant des remous de l'air.

« La chaleur est ainsi diffusée dans une masse indéfinie d'air, qui ne peut s'échauffer que d'une quantité insensible. Mais ce résultat final a été précédé, sur le passage de l'onde comprimée, d'un échauffement beaucoup plus considérable, qui dépasse certainement la température d'inflammation du grisou au voisinage de l'explosif, là où les pressions sont encore très considérables. Pour que l'inflammation ne se produise pas, il faut que la durée de compression en chaque point de l'air soit assez faible pour ne pas donner le temps à la combustion du gaz de commencer. Il est évident que ce temps est d'autant plus grand que la masse de l'explosif qui se détend est plus considérable. Les chances d'inflammation du grisou sont donc d'autant plus fortes que le poids de l'explosif est plus grand. »

C'est l'idée même exprimée par M. Heise, mais, en y ajoutant la notion du retard à l'inflammation, dont M. Heise paraît faire abstraction, et sans lequel on ne peut concevoir un explosif plus sûr qu'un autre.

On peut faire à la théorie du pouvoir brisant proposée par M. Heise de très sérieuses objections : MM. Wat-

teyne et Denoël n'y ont pas manqué dans la remarquable discussion des résultats obtenus par M. Heise, qu'ils ont présentée dans leur *Note sur les explosifs de sûreté* (*). Ils font remarquer en premier lieu que la classification de M. Heise est assez incertaine ; car il attribue théoriquement la même température de détonation à la dahménite pulvérulente ou granulée, alors que, expérimentalement, il leur trouve des pouvoirs brisants très différents ; or il est fort possible que le mode de détonation soit également changé par la différence d'état physique et que la température de détonation s'en trouve abaissée ; est-il dès lors bien rigoureux d'attribuer exclusivement à l'influence du pouvoir brisant l'accroissement de sécurité? En second lieu, si c'est la compression seule de l'air qui amène l'explosion de l'atmosphère grisouteuse, on ne voit pas pourquoi l'accroissement de la charge diminue la sécurité, puisque cette compression dépend seulement de la tension maxima des gaz produits, qui, elle, est en rapport avec la densité de chargement et non avec la grandeur absolue de la charge. Enfin, en poussant à l'extrême la théorie de M. Heise, on arriverait à conclure que ce sont les explosifs les plus lents qui sont les plus sûrs, alors que, de tous les explosifs, c'est notoirement la poudre noire qui allume le mieux le grisou.

Développant alors la théorie indiquée par M. Le Chatelier, MM. Watteyne et Denoël font observer qu'il faut compléter la notion de la compression adiabatique, seule invoquée par M. Heise, par celle du retard à l'inflammation, et ils proposent à la place de la théorie du pouvoir brisant, une théorie basée sur l'*écart* entre la durée du retard à l'inflammation et celle de la détente complète des gaz. « Il est évident, disent-ils, que la durée de « détente des gaz produits par l'explosion est d'autant

(*) *Loc. cit.*

« plus grande que le poids de l'explosif est plus considé-
« rable. Quand ce temps est égal au retard à l'inflamma-
« tion, la limite de sûreté est atteinte. Les charges cor-
« respondant à ce point critique sont plus ou moins élevées
« pour les divers explosifs, suivant leur température de
« détonation et leur pouvoir brisant; mais aucun ne peut
« présenter une sécurité absolue. La sécurité relative
« sera d'autant plus grande que la différence entre la
« charge-limite et le poids d'explosif qui détone sera
« plus grande. »

Pour expliquer la manière dont les explosifs se comportent en présence des poussières seules, il ne faut plus guère invoquer le retard à l'inflammation, car les gaz combustibles que distillent les poussières sous l'influence de la chaleur et qui sont la vraie cause de l'explosion n'ont pas de retard appréciable à l'inflammation; c'est plutôt le *retard à la distillation* de ce gaz, exigeant une durée appréciable pour se dégager, qui joue là le rôle du retard à l'inflammation.

Comme l'écart entre le retard à l'inflammation (ou à la distillation) et la durée du refroidissement des produits de l'explosion jusqu'au-dessous de la température d'inflammation du mélange explosif (650° pour le grisou) n'est pas susceptible de mesures pratiques, MM. Watteyne et Denoël concluent que l'on ne peut enserrer les conditions qui définissent un explosif de sûreté dans une formule simple basée sur un seul élément, la température de détonation ou le pouvoir brisant, et que la connaissance du degré de sécurité des divers explosifs ne peut s'acquérir que par l'expérience.

Pour eux, le meilleur critérium sera donc la détermination expérimentale, en se plaçant dans les conditions les plus dangereuses, identiques dans chaque expérience, de la *charge limite de sécurité*, « qui est l'expression du
« rapport entre la durée du retard à l'inflammation et

« celle de la détente complète des gaz produits par l'unité « de poids ».

Nous nous associons pleinement aux critiques adressées par MM. Watteyne et Denoël à la théorie trop exclusive de M. Heise (*), et nous estimons avec eux que les conditions d'où dépend la sécurité des explosifs sont très complexes ; mais, pour les motifs que nous allons exposer ci-après, nous ne croyons pas que la recherche de la charge limite de sécurité conduise à des résultats plus dignes de confiance que la classification d'après les températures de détonation.

CONCLUSIONS.

L'exposé que nous venons de faire des travaux et des études poursuivies à l'étranger, en Belgique, en Angleterre, en Autriche et en Allemagne, montre en définitive qu'il y a, dans ces pays, une tendance très nette à substituer à la formule française, dont on reconnaît d'ailleurs la très grande valeur, une méthode purement expérimentale, ayant pour but de déterminer par des essais pratiques la *charge limite* d'un explosif déterminé.

Y a-t-il un réel intérêt à renoncer à la classification si commode de notre réglementation, et de procéder à une révision de nos explosifs de sûreté, dont la sécurité serait appréciée, par exemple comme en Angleterre, par *voie d'espèce* au moyen d'essais ayant pour but de fixer la charge limite dans des conditions déterminées ? Nous ne le croyons pas, et c'est du rapprochement de toutes les données, rappelées dans cette Note, que découle notre conviction.

(*) Nous y ajouterons cette objection que les poids d'explosifs ayant servi à la détermination du pouvoir brisant sont très faibles (9gr,33 à 11gr,36) par rapport au poids du fulminate (2 grammes) servant à les faire détoner, ce qui peut altérer singulièrement le mode de détonation que donnent en pratique dans les coups de mine ordinaires les explosifs considérés.

Pour que l'appréciation de la sécurité d'un explosif par des essais destinés à déterminer la charge limite soit réellement probante, ces essais devraient remplir, à notre avis, les trois conditions suivantes :

1° Être comparables entre eux, c'est-à-dire donner toujours des résultats sensiblement les mêmes avec des explosifs identiques;

2° Reproduire autant que possible les circonstances les plus dangereuses pouvant se rencontrer en pratique dans l'emploi des explosifs ;

3° Donner des résultats très peu différents avec des explosifs de même composition, sans quoi il faudrait recommencer des essais sur chaque lot de fabrication pour que la garantie donnée par les essais ne soit pas illusoire.

Le premier point paraît assez facile à réaliser, car l'examen des tableaux d'expériences des différents expérimentateurs, qui ont en général opéré pour un même explosif sur des lots provenant d'une même usine et souvent d'une même fabrication, montre qu'en somme il y a une assez grande concordance entre les résultats d'essais exécutés par la même méthode et les mêmes opérateurs.

Il n'en est pas de même du second point, car le désaccord existe, comme on a pu le voir, non seulement entre les méthodes préconisées par telle ou telle Commission, mais encore entre les résultats d'une même méthode suivant les dimensions relatives des appareils employés. Dans les essais de M. Heise, un même explosif a donné des charges limites notablement, et parfois beaucoup plus faibles, en détonant à l'air libre, qu'en détonant dans un mortier (ce qui n'empêche pas que M. Heise donne la préférence à la méthode du mortier); en revanche, les mêmes explosifs à 1.500° qui, tirés dans un mortier sans bourrage dans les essais de Liévin, allumaient le grisou avec une charge de 110 grammes, ne l'avaient pas enflammé à

l'air libre dans les expériences faites à Sevran-Livry par la Commission française avec des charges de 200 grammes, probablement à cause de la différence de capacité des chambres d'expériences (1^{m3},750 à Liévin, 10 mètres cubes à Sevran-Livry). La charge limite dépend donc essentiellement de l'appareil employé et varie fortement avec les dimensions de celui-ci; rien ne permet d'ailleurs de déterminer *a priori* quel est celui qui réalise le plus fidèlement les conditions les plus défavorables de la pratique, conditions qui doivent changer d'une mine à l'autre, d'un chantier à un autre chantier.

Sur le troisième point, les expériences de M. Heise prouvent, d'une façon qui paraît très sérieuse, que les résultats donnés par un explosif de même composition varient du tout au tout suivant le mode de fabrication : si, en effet, la dahménite A est granulée au lieu d'être pulvérulente, d'explosif médiocre elle se transforme en un explosif très sûr; or comment répondre que, dans une même fabrique, d'une année à l'autre, et à plus forte raison dans deux usines différentes, l'état physique des matières explosives livrées à l'exploitant de mines sera identique, et n'est-il pas extrêmement probable (sans aller jusqu'aux différences constatées pour la dahménite, dont la charge limite à l'air libre passe du simple au décuple suivant cet état) que des explosifs de même composition auront des charges limites très différentes, suivant leur provenance ?

En somme, les nombreux essais entrepris à la suite des travaux de la Commission française ont tous vérifié les faits *certains* établis par celles-ci, notamment cette observation capitale qu'un explosif ne peut être qualifié de *sécurité* qu'à la condition d'avoir une température de détonation inférieure à 2.200°. Ils ont accru la liste des explosifs qu'on peut faire rentrer dans cette catégorie, mais n'autorisent pas à penser que certains des mélanges

indiqués par la Commission française doivent en être rayés.

Si l'on a voulu trouver parfois ses théories en défaut, c'est que l'on paraît leur avoir attribué un sens plus strict que celui qui attachait leurs auteurs mêmes, en leur prêtant notamment cette signification que *la sécurité d'un explosif dépend uniquement de sa température de détonation et est indépendante de la charge ;* les citations que nous avons faites au début de cette Note des rapports de Mallard montrent bien que les conclusions de la Commission française ont été beaucoup moins affirmatives, et les études poursuivies depuis dix ans les laissent subsister tout entières.

Parmi les circonstances multiples influant sur la sécurité d'un explosif en présence du grisou ou des poussières, c'est bien la température de détonation qui a la part prépondérante, et si l'on peut admettre avec M. Heise que le classement d'après la température de détonation ne répond pas d'une façon absolument rigoureuse au classement d'après la sécurité déterminée avec l'appareil dont il s'est servi, les écarts entre ces deux classements, dans ses propres expériences, sont assez faibles, et la justesse du premier est assez nettement vérifiée par les autres essais pour qu'il n'y ait pas lieu, quant à présent, de renoncer à la simplicité de la formule française pour la remplacer par d'autres méthodes dont nous n'entrevoyons pas la supériorité.

La Commission française du grisou aura, du reste, prochainement l'occasion de revenir sur la question si complexe de l'emploi des explosifs de sûreté, notamment en ce qui concerne les limites de charge.

Décembre 1898.

L'Ingénieur en Chef des Mines,
Secrétaire de la Commission du grisou,
G. CHESNEAU.

NOTE

SUR

LE SYSTÈME D'ENCLENCHEMENTS
PAR SERRURES BOURÉ

Par M. L. JANET, Ingénieur au Corps des Mines.

L'application courante des enclenchements à l'exploitation des chemins de fer a été une des principales améliorations apportées, depuis une vingtaine d'années, à la sécurité de la circulation des trains.

Le système le plus généralement adopté a été celui de la concentration des leviers des aiguilles et signaux dans des postes (types Saxby, Vignier, etc.), où des liaisons mécaniques sont établies entre eux. L'électricité a permis, de son côté, de réaliser des enclenchements à toute distance.

Mais, par suite de leur prix élevé, ces appareils n'ont pu être appliqués, jusqu'à présent, qu'aux gares importantes et aux bifurcations.

En outre, lorsque la fréquence des manœuvres ne justifie pas la présence permanente d'un agent au poste, la concentration des leviers a l'inconvénient, ou d'obliger un agent à faire continuellement la navette entre les voies où s'effectuent les manœuvres et le poste d'enclenchements où sont concentrés les leviers, ou d'imposer un agent de plus à la gare, uniquement à cause des rares manœuvres qui s'y font, et d'entraîner, en outre, dans ce dernier cas, l'établissement d'appareils de correspondance (sonneries par exemple), pour demander à distance la manœuvre des leviers du poste.

On a alors imaginé des serrures de diverses natures, placées sur les leviers de signaux et sur les leviers d'aiguilles ou sur les taquets. Elles établissent des liaisons telles que les mouvements sur les appareils de voie ne puissent avoir lieu que si les signaux qui protègent ces mouvements ont été mis préalablement à l'arrêt, et que, réciproquement, la manœuvre de ces appareils enclenche à l'arrêt les signaux correspondants.

Lorsque les aiguilles sont éloignées des leviers de manœuvre des signaux, l'obligation d'aller chercher la clef sur le levier du disque pour la porter à l'aiguille, et *vice versa*, constitue un sérieux inconvénient, et l'on emploie, de préférence, des serrures électriques où la solidarité est obtenue au moyen de courants agissant à distance.

Mais, bien que ces serrures soient plus économiques que la concentration des leviers, qui exige le plus souvent l'emploi de transmissions rigides pour la manœuvre des aiguilles, elles ne peuvent pas être considérées comme constituant une solution définitive pour les petites gares. En effet, d'une part, elles sont encore d'un prix relativement élevé, d'autre part, elles ne permettent guère que la réalisation d'enclenchements binaires simples.

Aussi, jusqu'à ces dernières années, les petites gares étaient-elles complètement dépourvues d'enclenchements; on y suppléait, il est vrai, dans une certaine mesure, par l'emploi, pour les aiguilles intéressant les voies principales, de contrepoids fixes ou à cheville cadenassée, mais ces deux systèmes ont leurs inconvénients.

Pour manœuvrer sur une aiguille à contrepoids fixe, il faut qu'un homme maintienne le contrepoids soulevé. Si, pendant que les véhicules passent sur l'aiguille, l'homme, pour une cause quelconque, lâche le contrepoids, un déraillement s'ensuit fatalement.

Avec le contrepoids à cheville cadenassée il arrive fré-

quemment qu'après une manœuvre l'aiguille est abandonnée, sans être recadenassée, dans une position où elle donne accès aux voies principales, et la sécurité qu'elle assure n'est guère plus grande que celle que l'on obtient avec une aiguille munie du contrepoids ordinaire.

Aussi trouve-t-on encore beaucoup d'aiguilles à contrepoids ordinaire, munies simplement d'un système de cadenassage consistant à rendre impossible la manœuvre de l'aiguille sans que l'on ait dégagé le levier, qui est maintenu par une chaîne fermée elle-même par un cadenas. Après chaque manœuvre de l'aiguille la clef du cadenas est remise au chef de gare ou au stationnaire quand l'aiguille est cadenassée dans sa position normale. Dans ces conditions, l'agent chargé de la manœuvre des signaux peut savoir, à tout instant, si des manœuvres engagent des voies principales.

Ce système de cadenassage était appliqué avec une rigueur aussi grande que possible sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée. Les cadenas des aiguilles et taquets défendant l'accès d'une voie principale s'ouvraient tous avec une même clef, et cette clef était entre les mains de l'agent chargé de la manœuvre des signaux, qui avait la consigne *de ne s'en dessaisir qu'après avoir mis à l'arrêt les signaux de la voie principale, et de maintenir ces signaux à l'arrêt, tant que la clef ne lui serait pas rendue ;* d'autre part, l'agent employant la clef avait la consigne de *ne la rendre à l'agent chargé de la manœuvre des signaux qu'après que la voie principale était dégagée, et les aiguilles et taquets recadenassés dans leur position normale.*

Mais de nombreux accidents sont venus démontrer l'imperfection du système, et malheureusement aucun contrôle, en dehors de la visite des appareils sur place, ne peut révéler la faute commise par l'aiguilleur qui remet la clef au chef de service sans avoir fermé le cade-

nas ou même sans avoir mis ni la chaîne, ni le cadenas en place.

Il existait donc réellement une lacune à combler; il semble qu'elle le soit aujourd'hui, grâce aux appareils imaginés par M. Bouré, Inspecteur principal adjoint à la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée. C'est la description de ces ingénieux appareils qui est le but de la présente note.

Nous avons été amené à les étudier comme Ingénieur du contrôle de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, et avons pu, grâce au bienveillant accueil des autres administrations de chemins de fer, nous tenir au courant des résultats de leurs applications sur l'ensemble du réseau français. Il nous a paru qu'il n'était pas sans intérêt de les faire connaître.

BUT DES APPAREILS.

Les appareils imaginés par M. Bouré rendent, pour ainsi dire, matériellement obligatoire l'application des consignes de cadenassage, en sorte que :

1° Pour donner la clef d'une aiguille ou d'un taquet, l'agent chargé de la manœuvre des signaux est matériellement obligé de mettre préalablement à l'arrêt tous les signaux utiles ;

2° Il est matériellement impossible d'effacer les signaux, tant que la clef n'est pas rapportée au poste de manœuvre ;

3° Il est matériellement impossible de rapporter cette clef, avant d'avoir replacé l'aiguille ou le taquet dans sa position normale et de l'avoir assujetti dans cette position.

Les trois parties de ce problème ont été résolues en munissant les leviers et taquets de serrures spéciales qui remplacent les cadenas actuels.

Lorsque le nombre des leviers à enclencher est important, les clefs sont réunies dans une serrure centrale qui permet d'établir entre elles, et par suite entre les leviers, les mêmes relations qu'un Saxby ou un Vignier.

Dans le cas d'un très petit nombre de leviers, on peut parfois se passer de serrure centrale, en plaçant sur les appareils des serrures à clefs multiples.

DESCRIPTION DU SYSTÈME D'ENCLENCHEMENT.

L'enclenchement d'un levier (taquet ou tout autre appareil) dans l'une des deux positions extrêmes qu'il peut occuper est réalisé au moyen d'une chaîne de longueur convenable, reliée à un point fixe, et qui empêche qu'on puisse écarter ledit levier de la position voulue.

Cette chaîne est fixée à une extrémité et porte à l'autre extrémité un crochet qui permet de l'attacher au levier.

Les *fig.* 1 et 2 de la Planche VII indiquent un levier L, enclenché dans ces conditions ; la chaîne H est fixée, par les tirefonds I, à la traverse sur laquelle est monté le levier, et elle s'attache à ce levier au moyen de l'agrafe G, qui s'applique sur l'armature R, rivée au levier.

L'armature R et l'agrafe G sont représentées réunies sur les *fig.* 3, 4 et 5, et séparées sur les *fig.* 6, 7, 8, 9, 10 et 11.

L'armature R (*fig.* 6 à 8), rivée au levier L, possède deux fenêtres ou mortaises *m* et porte une clef K qui peut se mouvoir longitudinalement dans son logement, de façon à présenter à volonté son panneton à l'intérieur ou à l'extérieur de l'armature ; mais l'ergot *q* s'oppose à son retrait de l'armature R et, par suite, du levier.

L'agrafe G (*fig.* 9 à 11) consiste en une plaque *p* portant deux appendices ou tenons, *t*, recourbés à angle droit à leur extrémité *n*. Sur la plaque *p*, du côté opposé aux tenons, se trouve fixée une serrure S à laquelle peut,

comme nous allons le voir, s'adapter la clef K de l'armature, par une entrée située au droit de l'ouverture *a* (*fig.* 10), ménagée dans la plaque *p*.

En amenant l'agrafe G (*fig.* 9) en regard de l'armature R (*fig.* 7), après avoir déplacé la clef K de droite à gauche pour la faire rentrer complètement dans l'armature, on peut faire pénétrer les tenons *t* dans les mortaises *m* de l'armature, de façon que la plaque *p* s'applique contre cette armature, puis déplacer l'agrafe G dans le sens des flèches de la *fig.* 5, de manière à faire prendre aux tenons *t*, dans les fenêtres *m*, la position indiquée par cette *fig.* 5. L'entrée *a* (*fig.* 10) se trouve alors en regard de la clef K, et celle-ci peut pénétrer dans la serrure S, en traversant la plaque *p*.

Lorsque la clef K est dans la serrure S, elle s'oppose au glissement de la plaque *p* dans le sens inverse de celui des flèches de la *fig.* 5; on ne peut donc ramener les appendices *n* en regard des fenêtres *m*, et il devient impossible de séparer l'agrafe G de l'armature R.

Ainsi, tant que la clef K est dans la serrure S, la chaîne H se trouve *nécessairement* fixée au levier L. Pour que le levier L soit enclenché dans la position considérée, il suffit donc qu'on ne puisse retirer la clef K de la serrure S.

On obtient ce résultat au moyen d'une seconde clef C (*fig.* 3, 5, 9 et 11), qui s'adapte à la serrure S, du côté opposé à l'agrafe G.

La serrure S établit entre les deux clefs K et C, ainsi que nous allons le voir, une solidarité telle que, *quand l'une de ces clefs est retirée de la serrure, l'autre y est nécessairement emprisonnée.*

Il résulte donc de ce qui précède :

1° Que le levier L sera enclenché quand la clef C sera retirée de la serrure S (puisque la clef K y sera alors prisonnière);

2° Que lorsque le levier L sera écarté de la position dans laquelle il peut être enclenché (ce qui ne peut avoir lieu que si la clef K est retirée de la serrure), la clef C sera prisonnière dans la serrure S.

La *fig.* 12 représente le mécanisme intérieur de la serrure S, couvercle enlevé, et les *fig.* 13 et 14 représentent ce couvercle.

Lorsque la serrure S est fixée à l'agrafe G, le couvercle se trouve contre cette agrafe.

Dans cette serrure, les clefs K et C actionnent chacune un pène, et le mécanisme correspondant à chaque pène est celui de la serrure ordinaire.

Les deux pènes P et Q, actionnés respectivement par les clefs K et C, sont disposés à angle droit (*fig.* 12). Dans la partie où ils se croisent, leur épaisseur est réduite de moitié.

Le mouvement de rotation des clefs est limité, pour la clef K par l'arrêt *d*, et pour la clef C par l'arrêt *e*.

Le pène P possède une encoche *g*, dans laquelle peut pénétrer le taquet *h* du pène Q.

La *fig.* 12 représente le pène P dans la position qu'il occupe lorsque la clef K est retirée de la serrure ; le pène Q ne peut alors se mouvoir de haut en bas, car l'encoche *g* n'est pas en regard du taquet *h*, et ce taquet bute, par conséquent, contre le pène P. Il en résulte que la clef correspondante C se trouve emprisonnée dans la serrure ; son panneton ne peut être amené, en effet, en regard de l'ouverture *b* par laquelle il peut sortir, puisque, si l'on essaie de faire tourner la clef dans l'un ou l'autre sens, ce panneton est arrêté, d'un côté, par l'une des barbes *r* du pène Q (qui ne peut se mouvoir), de l'autre, par l'arrêt *e*. Ainsi, lorsque la clef K est retirée de la serrure S (ou peut en être retirée), la clef C s'y trouve nécessairement emprisonnée.

Si, au contraire, la clef K se trouvant dans la serrure S,

on vient à la faire tourner, le pène P se meut de gauche à droite, et l'encoche *g* vient se placer en regard du taquet *h* du pène Q ; en faisant alors tourner la clef C, ce pène Q se meut de haut en bas, son taquet *h* pénètre dans l'encoche *g*, et on peut retirer la clef C de la serrure. Mais alors la clef K s'y trouve emprisonnée, car, si l'on essaie de la faire tourner pour l'amener en regard de l'ouverture *a*, son panneton est arrêté, d'un côté, par l'arrêt *d*, et de l'autre par l'une des barbes *s* du pène P, qui ne peut se déplacer de droite à gauche, puisque le taquet *h* du pène Q occupe l'encoche *g*. Dès lors, quand la clef C est retirée de la serrure S, la clef K s'y trouve nécessairement emprisonnée.

On donne le nom de *clef fixe* à la clef K inséparable de l'armature, et de *clef mobile* ou simplement clef de la serrure à la clef C, qui peut être transportée d'une serrure à l'autre.

Nous dirons que, dans une serrure, deux clefs sont conjuguées entre elles, lorsque, l'une étant retirée de la serrure, l'autre s'y trouve nécessairement emprisonnée. Dans la serrure S, par exemple, les clefs K et C sont conjuguées.

Examinons maintenant comment ce système de serrure peut être appliqué dans une gare pour l'enclenchement des leviers d'appareils avec ceux des signaux.

Considérons une gare présentant les dispositions indiquées à la *fig.* 15 et faisons correspondre à chacun des leviers des signaux *d*, *c* et *j*, et des aiguilles, C, D, E, G, I et K, ainsi qu'à chacun des taquets d'arrêts *t*, une serrure avec chaîne établie dans les conditions que nous venons d'indiquer, appelée conventionnellement serrure agencée, de façon à permettre d'enclencher :

a) Chaque levier de signal dans la position qui correspond à la mise à l'arrêt du signal ;

b) Chaque levier d'aiguille dans la position dans laquelle

l'aiguille défend l'accès des voies principales (aiguille G) ou assure la continuité de ces voies principales (aiguilles C, D, E, I);

c) Enfin chaque taquet d'arrêt dans la position dans laquelle il interdit l'accès des voies principales.

Le programme des enclenchements à réaliser sera le suivant:

Aiguilles prises en talon sur les voies principales et donnant accès à des voies de service qui ne rencontrent nulle part ailleurs les voies principales. — Ces aiguilles F, I et K sont protégées par des taquets *t*, ou mieux par une aiguille G donnant accès à une voie de sécurité en impasse, lorsqu'il s'agit de voies de manœuvre, par un signal d'arrêt *j*, lorsqu'il s'agit d'une voie de garage. Tous ces appareils doivent être enclenchés avec les signaux correspondant à la voie principale sur laquelle l'aiguille est placée.

Aiguilles prises en talon sur une voie principale et donnant accès à des voies de service qui traversent ou rejoignent une autre voie principale. — C'est le cas de la jonction CD des voies principales, et de l'aiguille E protégée par des taquets *t*; tous ces appareils doivent être enclenchés avec les signaux des deux voies principales.

Traversées d'équerre. — Dans le cas d'une traversée telle que AB, dont l'accès est donné par une série de plaques tournantes, il arrive souvent qu'un wagon tourné sur les plaques voisines des voies principales engage celles-ci. On munit alors chacune de ces plaques d'un taquet s'opposant, dans sa position normale, à leur rotation. Lorsqu'il y a d'autres plaques au delà, un taquet doit de plus être installé sur la voie d'équerre de manière à empêcher un véhicule tourné sur ces plaques de venir engager les voies principales. Ces appareils doivent être enclenchés avec les signaux des deux voies principales.

Appelons comme suit la serrure de chacune des différentes agrafes et celle de ses clefs que nous avons désignées précèdemment par la lettre C.

Serrure α adaptée aux agrafes des signaux s'adressant à la voie 1.. Clef α
(Clef C de la serrure α)
Serrure β adaptée aux agrafes des signaux s'adressant à la voie 2.. Clef β
Serrure γ des appareils commandant l'accès de la voie 1. Clef γ
— δ — — 2. Clef δ
— ε — — des voies 1 et 2. Clef ε

Pour réaliser entre les différents leviers ou taquets les enclenchements nécessaires en vue d'empêcher toute collision entre les trains en circulation et les manœuvres exécutées en gare, on disposera, à côté des leviers de signaux, une serrure spéciale, que nous appellerons serrure centrale, à laquelle s'adapteront les différentes clefs α, β, γ, δ et ε, et dans laquelle

Les clefs α seront conjuguées avec les clefs γ et ε
— β — δ et ε

La solidarité étant ainsi établie par la serrure centrale entre les différentes clefs, on voit que, dans l'exemple de la gare considérée, il faut, pour assurer le jeu du système, disposer de :

2 clefs α 2 clefs β 4 clefs γ 4 clefs δ 8 clefs ε.

Ces chiffres sont des maxima et peuvent souvent être réduits. Si, par exemple, on ne désire ouvrir à la fois qu'un seul taquet des voies 3, 5, 7, voisines de l'aiguille K, deux clefs γ suffiront. Si l'on admet que l'on ne manœuvrera jamais à la fois sur l'aiguille F donnant accès à la voie de service 4 et sur l'aiguille I donnant accès à la voie du garage 6, on n'aura besoin que de deux clefs δ. Si, lorsque l'on utilise l'aiguille E, on ne veut

abattre à la fois qu'un seul des taquets installés au voisinage sur les voies 3 et 5, et que l'on renonce à manœuvrer en même temps sur la jonction CD et sur la traversée AB, il suffira de deux clefs ε. Les chiffres minima seront dès lors :

2 clefs α   2 clefs β   2 clefs γ   2 clefs δ   2 clefs ε.

On peut donc, soit laisser à la station la libre disposition simultanée de toutes les aiguilles et de tous les taquets (sous la seule condition que les clefs des signaux couvrant la ou les voies que ces appareils permettent d'engager soient emprisonnées dans la serrure centrale), soit restreindre au minimum le nombre des clefs d'aiguilles et taquets pouvant être extraits de la serrure centrale. La première solution a l'inconvénient d'exiger un temps trop long pour obtenir l'ouverture des signaux, lorsque toutes les clefs sont dehors, ce qui peut occasionner des retards aux trains. Dans le second cas, l'impossibilité de manœuvrer plusieurs appareils à la fois peut constituer une sujétion fâcheuse; on évite, il est vrai, le danger de collision entre manœuvres différentes, mais cette considération n'est guère à retenir dans les petites gares. En somme, dans chaque cas particulier, ce sera une question d'espèce, et l'on sera souvent conduit à adopter une solution intermédiaire.

Deux clefs sont conjuguées entre elles dans la serrure centrale de la même manière que le sont les clefs K et C dans la serrure représentée dans la *fig.* 12.

Considérons, par exemple, dans la serrure centrale (*fig.* 1 et 2, Pl. VIII) les clefs α et γ.

Dans la position des organes représentée par la *fig.* 2, les clefs α peuvent être retirées de la serrure centrale. Les taquets *f* des pènes, actionnés par ces clefs, se trouvent en regard des taquets *h* des pènes actionnés par les clefs γ; ces derniers pènes ne peuvent, par suite, se mouvoir, et, conséquemment, les clefs γ sont emprisonnées dans la

serrure centrale ; les pannetons de ces clefs ne peuvent, en effet, être amenés en face des ouvertures par lesquelles ils peuvent sortir ; car, si l'on essaie de les faire tourner, ils sont arrêtés, d'un côté, par les arrêts *e*, de l'autre, par l'une des barbes *r* du pène correspondant.

Ainsi, quand une des clefs α est retirée (ou peut être retirée) de la serrure centrale, toutes les clefs γ y sont nécessairement emprisonnées.

Inversement, si l'on tourne les clefs α dans la serrure centrale (dans le sens d'une aiguille d'une montre), les pènes qu'elles actionnent se déplacent de droite à gauche, et leurs taquets *f* ne se trouvent plus en regard des taquets *h* des pènes actionnés par les clefs γ. En agissant alors sur l'une quelconque de ces clefs γ, on fait mouvoir son pène de haut en bas ; les taquets *h* passent à droite des taquets *f*, et on peut retirer de la serrure centrale la clef γ considérée. Mais alors les clefs α sont emprisonnées dans cette serrure, car, si l'on essaie de les faire tourner, leurs pannetons rencontrent, d'un côté, les arrêts *d*, de l'autre, l'une des barbes *s* du pène correspondant, qui ne peut se déplacer, puisque l'un de ses taquets *f* bute à droite contre le taquet *h* du pène de la clef γ considérée.

La *fig.* 2 montre qu'il en est, pour les clefs α et ε, comme pour les clefs α et γ.

Donc, quand une clef γ ou ε est retirée de la serrure centrale, toutes les clefs α y sont emprisonnées.

Les clefs α sont donc conjuguées avec les clefs γ et ε.

Les clefs β sont de même conjuguées avec les clefs δ et ε.

Les clefs α, β, γ, δ et ε doivent différer évidemment entre elles et différer de la clef fixe K, qui, elle, peut être la même pour toutes les armatures. La *fig.* 3 indique les formes que l'on peut donner à ces diverses clefs. Ce sont celles en usage sur le réseau du Nord.

Normalement, les leviers des signaux des voies principales sont libres.

Les clefs α et β sont donc emprisonnées dans les serrures de ces leviers, et, par suite, les clefs γ, δ et ε sont emprisonnées dans la serrure centrale.

S'il s'agit, par exemple, de faire passer des véhicules de la voie 3 à la voie 4, ou *vice versa*, par la transversale AB (*fig.* 15, Pl. VII), on mettra les signaux des voies 1 et 2 à l'arrêt (s'ils n'y sont déjà), on retirera les clefs α et les clefs β de leurs serrures respectives, — enclenchant ainsi à l'arrêt ces signaux, — on les portera à la serrure centrale, on les y tournera et on pourra ensuite en retirer les clefs ε.

Ces clefs ε retirées, les clefs α et β se trouveront prisonnières dans la serrure centrale.

On portera ensuite deux clefs ε aux taquets de la transversale, on ouvrira leurs serrures et on renversera les taquets. Les taquets renversés, les clefs ε seront prisonnières dans leurs serrures.

Par suite, tant que la manœuvre engagera la transversale, les signaux des voies principales seront à l'arrêt.

La manœuvre terminée, on relèvera les taquets, on retirera les clefs ε de leurs serrures, — enclenchant ainsi ces taquets dans leurs positions normales; — on reportera ensuite les clefs ε à la serrure centrale et on y prendra les clefs α et β qu'on reportera aux serrures des leviers des signaux des voies principales pour libérer ces signaux.

Lorsqu'un levier enclenché se trouve très éloigné du point où est placé la serrure centrale, il peut y avoir intérêt à éviter d'avoir à transporter la clef entre ce point et le levier et *vice versa*.

Il suffit, pour cela, de disposer près de la serrure centrale un levier spécial M (*fig.* 4, Pl. VIII) et, près du levier enclenché L, un autre levier spécial N, et de relier ces

deux leviers par un fil métallique, de telle sorte que, quand l'un d'eux est horizontal, l'autre se trouve nécessairement incliné.

Les leviers M et N peuvent être enclenchés dans leur position horizontale dans les mêmes conditions que les leviers ordinaires.

La serrure du levier M a pour clef celle qu'on aurait à transporter (C), et la serrure du levier N une clef C′ identique à la clef C.

Lorsque la clef C est emprisonnée dans la serrure centrale, le levier M est horizontal, le levier N incliné, et, par conséquent, la clef C′ est prisonnière dans la serrure du levier N ; le levier L est donc enclenché.

Lorsqu'un agent veut manœuvrer le levier L, il le fait savoir, par un signe conventionnel, à l'agent chargé de la manœuvre des signaux fixes ; celui-ci prend à la serrure centrale la clef C, libère avec elle le levier M et le relève ; le levier N passe de la position inclinée à la position horizontale, et la clef C′ peut être retirée de sa serrure et servir à libérer le levier L.

Tant que ce dernier est renversé, la clef C′ est prisonnière dans sa serrure, le levier N est enclenché dans la position horizontale, le levier M reste dans la position inclinée, et la clef C est prisonnière dans la serrure de celui-ci.

La clef C′ remplace ainsi la clef C, et on n'a pas à transporter cette dernière.

On voit, d'après cette description, que les serrures Bouré permettent facilement d'enclencher les leviers des signaux avec les leviers d'aiguilles, les taquets de voies de service, de transversales et de plaques tournantes, et généralement tous les appareils des gares pouvant donner accès aux voies principales. Elles se prêtent également bien à l'enclenchement des leviers des signaux protecteurs des passages à niveau avec les barrières de ces passages.

Le système d'enclenchements par serrures Bouré a été essayé pour la première fois, sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée en 1895, à la gare de Thomery (ligne de Paris à Marseille). Les premiers résultats ayant été satisfaisants, l'essai a été étendu à 22 gares du réseau, à raison de deux par section d'inspecteur principal. Puis le système a été adopté officiellement.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a décidé de placer tout d'abord des serrures Bouré dans toutes les gares des lignes pourvues du block-system ; actuellement 183 de ces gares en sont munies; on étendra ensuite progressivement l'application de ces appareils à toutes les gares du réseau.

L'Administration des chemins de fer de l'État a décidé l'établissement de serrures dans toutes les gares franchies sans arrêt par des trains express. L'installation est presque terminée sur les lignes à double voie (32 gares); elle va se poursuivre immédiatement sur les lignes à voie unique; on étudiera ensuite la question de l'extension des appareils aux autres gares du réseau.

La Compagnie du Nord est allée encore plus vite dans l'application du système, et, à la date du 1er janvier 1899, 275 gares avaient été enclenchées au moyen de serrures Bouré. Cette Compagnie a déjà appliqué ces serrures à toutes les gares des lignes à double voie de son réseau; elle en poursuit l'application sur les lignes à voie unique, en commençant par celles qui sont parcourues par des trains express.

Le Syndicat des Chemins de fer de Ceinture les a déjà fait installer dans 7 gares et va en faire l'application dans toutes les gares des deux Ceintures.

Les essais entrepris sur les Compagnies de l'Est et du Midi ont donné des résultats satisfaisants; mais aucun programme n'a encore été arrêté pour l'application des serrures.

La Compagnie de l'Ouest vient de décider de faire l'essai du système à la gare de courses de Maisons-Laffite et dans deux petites gares.

A l'Étranger, les essais entrepris sur un grand nombre de chemins de fer ont donné de bons résultats, et le réseau italien de la Méditerranée est déjà entré dans la période d'application courante.

Nous annexons à la présente Note un état indiquant, pour chaque réseau, à la date du 1er janvier 1899, les gares munies de serrures Bouré, le nombre des serrures agencées par gare et le nombre de clefs de serrures centrales.

Presque toutes ces installations ont été faites dans de petites gares. Les serrures Bouré ont cependant été employées à la gare de Chantilly, affectée spécialement au service des courses. Étant donné que cette gare n'est utilisée que quelques jours par an, la dépense nécessaire pour l'installation d'enclenchements coûteux, par exemple du type Saxby, eût été tout à fait hors de proportion avec le but à atteindre. L'installation de ces serrures Bouré a fait l'objet d'un article très intéressant de M. Zimmerman, Inspecteur principal de l'Exploitation du chemin de fer du Nord, qui a paru dans la *Revue générale des Chemins de fer*, numéro de juillet 1897.

Nous renverrons à cet article pour l'étude du cas spécial qui s'est posé à Chantilly, et nous étudierons quelques exemples choisis parmi les petites gares.

RÉSEAU PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

Gare de Bois-le-Roi (*Ligne de Paris à Marseille*).

Nous rappellerons que, sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, le régime adopté est celui de la voie fermée, et que les signaux de chaque petite gare comprennent généralement deux disques avancés et deux sémaphores.

DÉSIGNATION des serrures et des clefs correspondantes	FORME DES CLEFS (1/2 grandeur)	APPAREILS AUXQUELS S'ADAPTENT LES SERRURES	POSITION dans laquelle les appareils sont enclenchés	RELATIONS ÉTABLIES par la serrure centrale entre les différentes clefs
(D_1S_1)		*Disque et bras sémaphorique* (*ou carré*) *de la voie* 1, dans le cas où ces signaux protègent toutes les manœuvres engageant la voie 1.	Arrêt	(D_1S_1) conjuguée avec 1, (1-2), $(1\text{-}2)_1$.
D_1	d°	*Disque de la voie* 1, dans le cas où le bras sémaphorique ne protège pas toutes les manœuvres engageant cette voie.	Arrêt	D_1 conjuguée avec 1*d*, 1*s*, (1-2), et $(1\text{-}2)_2$, et, en outre, sur voie unique, avec (1-2).
S_1	d°	*Bras sémaphorique de la voie* 1, dans le cas où ce signal ne protège pas toutes les manœuvres engageant la voie 1.	Arrêt	S_1 conjuguée avec 1*s* et $(1\text{-}2)_1$, et, en outre, sur voie unique, avec (1-2).
(D_2S_2)		*Disque et bras sémaphorique* (*ou carré*) *de la voie* 2, dans le cas où ces signaux protègent toutes les manœuvres engageant la voie 2.	Arrêt	(D_2S_2) conjuguée avec 2, (1-2) et $(1\text{-}2)_2$.
D_2	d°	*Disque de la voie* 2, dans le cas où le bras sémaphorique ne protège pas toutes les manœuvres engageant cette voie.	Arrêt	D_2 conjuguée avec 2*d*, 2*s*, $(1\text{-}2)_1$ et $(1\text{-}2)_2$ et, en outre, sur voie unique, avec (1-2).
S_2	d°	*Bras sémaphorique de la voie* 2, dans le cas où ce signal ne protège pas toutes les manœuvres engageant la voie 2.	Arrêt	S_2 conjuguée avec 2*s* et $(1\text{-}2)_2$, et, en outre, sur voie unique, avec (1-2).
		Appareils qui commandent les manœuvres enga-	Position dans laquelle	

1d	— d° —	... geant *la voie* 1 protégées par le disque seulement.	— d° —	1d conjuguée avec D_1.
1s	— d° —	*Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie* 1 protégées par le disque et le sémaphore, dans le cas où ce dernier ne protège pas *toutes* les manœuvres engageant la voie 1.	— d° —	1s conjuguée avec D_1 et S_1.
2		*Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie* 2, dans le cas où le disque et le sémaphore (ou carré) voie 2 protègent *toutes* les manœuvres engageant cette voie 2.	Position dans laquelle l'appareil interdit l'accès de la voie 2	2 conjuguée avec (D_2S_2).
2d	— d° —	*Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie* 2 protégées par le disque seulement.	— d° —	2d conjuguée avec D_2.
2s	— d° —	*Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie* 2, protégées par le disque et le sémaphore, dans le cas où ce dernier ne protège pas *toutes* les manœuvres engageant la voie 2.	— d° —	2s conjuguée avec D_2 et S_2.
(1-2)		*Sur les lignes à double voie:* Appareils qui commandent les manœuvres engageant les voies 1 et 2, dans le cas où le disque et le bras sémaphorique (ou carré) de chaque voie principale protègent *toutes* les manœuvres engageant cette voie. *Sur les lignes à voie unique:* Appareils commandant l'accès des voies 1 et 2.	Position dans laquelle l'appareil interdit l'accès des voies 1 et 2	(1-2) conjuguée avec (D_1S_1) et (D_2S_2), et, en outre, sur voie unique, avec D_1 et S_1, et D_2 et S_2.
$(1\text{-}2)_1$	— d° —	*Sur les lignes à double voie:* Appareils qui commandent les manœuvres engageant les voies 1 et 2 et protégées: 1° sur voie 1, par le disque et le sémaphore; 2° sur voie 2, par le disque seulement. *Sur les lignes à voie unique:* Appareils commandant l'accès de la voie 1.	— d° —	$(1\text{-}2)_1$ conjuguée avec D_2 et (D_1S_1) ou D_1 et S_1.
$(1\text{-}2)_2$	— d° —	*Sur les lignes à double voie:* Appareils qui commandent les manœuvres engageant les voies 1 et 2 et protégées: 1° sur voie 1 par le disque seulement; 2° sur voie 2 par le disque et le sémaphore. *Sur les lignes à voie unique:* Appareils commandant l'accès de la voie 2.	— d° —	$(1\text{-}2)_2$ conjuguée avec D_1 et (D_2S_2) ou D_2 et S_2.

NE SONT PAS EMPLOYÉS SUR LES LIGNES A VOIE UNIQUE (rows 1d to 2s)

Dans la position normale, les aiguilles sont disposées pour la continuité des voies principales, et les taquets sont dans la position d'arrêt.

Nous donnons ci-dessus (p. 314-315) la notation adoptée par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée pour la désignation des enclenchements par serrures Bouré.

La *fig.* 1, Pl. IX, indique la disposition des voies et des signaux à la gare de Bois-le-Roi.

Les divers mouvements que l'on peut avoir à exécuter dans cette gare sont les suivants:

1° **Entrée ou sortie du garage impair.** — Cette manœuvre n'intéresse que la voie 1, et il est, par suite, suffisant de réaliser les enclenchements suivants:

$$\frac{\text{Disque 1R}}{\text{Taquet V. 3N}} \qquad \frac{\text{Sémaphore 1R}}{\text{Taquet V. 3N}}$$

Il n'a pas semblé nécessaire d'enclencher l'aiguille de la voie 3.

2° **Entrée ou sortie du garage pair.** — La situation est tout à fait analogue, et il suffit, pour assurer la sécurité, de réaliser les enclenchements suivants:

$$\frac{\text{Disque 2R}}{\text{Taquet V. 4N}} \qquad \frac{\text{Sémaphore 2R}}{\text{Taquet V. 4N}}$$

3° **Manœuvre par la communication.** — Une telle manœuvre engage les deux voies principales; il est donc nécessaire d'enclencher la communication 1-2 avec les signaux des deux directions:

$$\frac{\text{Disque 1R}}{\text{Aiguilles 1, 2, N}} \qquad \frac{\text{Sémaphore 1R}}{\text{Aiguilles 1, 2, N}}$$

$$\frac{\text{Disque 2R}}{\text{Aiguilles 1, 2, N}} \qquad \frac{\text{Sémaphore 2R}}{\text{Aiguilles 1, 2, N}}$$

Quand tous les signaux sont à l'arrêt, les enclenchements permettent d'abaisser les taquets des voies 3 et 4 et de manœuvrer à la fois sur les voies 3 et 4 et la communication 1-2. Cela ne peut offrir aucun inconvénient au point de vue de la sécurité dans une gare peu importante, comme celle de Bois-le-Roi, et présente, au point de vue de la commodité, l'avantage de permettre de garer rapidement des wagons, sans être obligé de recourir deux fois à la serrure centrale.

4° **Manœuvre par la transversale.** — Les dispositions sont les mêmes que pour une manœuvre par la communication 1-2. Il faudra donc enclencher les taquets des plaques des voies 3 et 5 avec les signaux des deux directions :

Disque 1R	Sémaphore 1R
Taquets plaques voies 3 et 4N	Taquets plaques voies 3 et 4N
Disque 2R	Sémaphore 2R
Taquets plaques voies 3 et 4N	Taquets plaques voies 3 et 4N

Comme il a paru inutile de donner la faculté de manœuvrer à la fois sur la communication 1-2 et sur la transversale, on n'a prévu à la serrure centrale que deux clefs devant servir à la fois à l'exécution du troisième mouvement et à celle du quatrième.

En raison de la grande distance qui sépare la serrure centrale de la transversale et de la communication, un appareil de transmission a été installé pour éviter le transport des clefs entre ces points.

Le programme de l'installation est résumé dans le tableau ci-dessous :

APPAREILS A MUNIR DE SERRURES BOURÉ	NUMÉROS des serrures	NOMBRE DE SERRURES															CLEFS de la serrure centrale
		D_1S_1	D_1	S_1	D_2S_2	D_2	S_2	1	1_d	1_s	2	2_d	2_s	(1-2)	$(1\text{-}2)_1$	$(1\text{-}2)_2$	
Disque rouge V. 1..	D_1S_1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2 clefs D_1S_1
Sémaphore impair d'entrée.............	D_1S_1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Disque rouge V. 2....................	D_2S_2	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2 clefs D_2S_2
Sémaphore pair d'entrée...............	D_2S_2	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Taquet V. 3..........................	1	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	1 clef 1
Taquet V. 4..........................	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	1 clef 2
Aiguille de la communication (1-2)......	(1-2)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	2 clefs (1-2)
Taquet des plaques V. 3 et 4...........	(1-2)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»
Appareil de transmission { Levier du poste	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
Appareil de transmission { Levier de la transversale.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	Cette serrure est une serr. à 2 clefs mobiles toutes 2, conjuguées avec la cl. fixe correspond.
	TOTAUX.	2	»	»	2	»	»	1	»	»	1	»	»	6	»	»	

La *fig.* 2, Pl. IX, indique l'aspect de la serrure centrale; afin qu'elle se prête à un agrandissement possible de la gare, des emplacements ont été prévus pour un certain nombre de clefs supplémentaires.

RÉSEAU DU NORD.

Station de Montigny-Beauchamps (Ligne de Paris à Creil par Saint-Ouen-l'Aumône).

Sur le réseau du Nord, le régime adopté pour les petites gares est celui de la voie ouverte, et la protection est assurée par un signal avancé dans chaque direction.

Dans leur position normale, les aiguilles sont disposées pour la continuité des voies principales, et les taquets sont dans la position d'arrêt.

La notation adoptée par la Cie du Nord est la suivante :

DÉSIGNATION des serrures et des clefs correspondantes	APPAREILS AUXQUELS S'ADAPTENT LES SERRURES
D_1	Disque de la voie 1.
D_2	Disque de la voie 2.
1	Aiguilles et taquets dont la manœuvre ne permet d'engager que la voie 1.
2	Aiguilles et taquets dont la manœuvre ne permet d'engager que la voie 2.
(1-2)	Aiguilles et taquets dont la manœuvre permet d'engager les deux voies principales.

Les clefs ont la forme indiquée à la *fig.* 3, Pl. VIII.

α clef D_1, β clef D_2,
γ clef 1, δ clef 2,
ε clef 1-2.

La *fig.* 3, Pl. IX, indique la disposition des voies et des signaux à la station de Montigny-Beauchamps.

Ici il a été décidé de faire entrer dans les combinaisons d'enclenchements les aiguilles prises en talon sur les voies principales; dès lors, en laissant seulement de côté l'aiguille 2 et le taquet T_2 dont nous nous occuperons tout à l'heure, on voit que les enclenchements à réaliser sont les suivants :

$$\frac{\text{Disque 1, N}}{\text{Aiguilles 1, 3, 5, 6, N + Taquets 1, 3, 4, N + Taquet plaque 1, N}}$$

$$\frac{\text{Disque 1, N}}{\text{Aiguilles 3, 4, 6, 8, N + Taquets 1, 4, N}}.$$

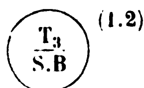
Il faut donc, pour tous ces appareils, une serrure D_1, une serrure D_2, 5 serrures 1, 2 serrures 2, 4 serrures (1-2.)

Pour pouvoir ouvrir les serrures de tous les leviers et taquets qu'on peut avoir à manœuvrer simultanément, il suffit de disposer à la serrure centrale d'une clef D^1 une clef D_2, deux clefs 1, deux clefs 2, deux clefs (1-2).

Les notations abrégées employées sur la *fig.* 3, Pl. IX, pour la désignation des enclenchements ont la signification suivante :

Un cercle placé près d'un appareil avec la mention S. B. à l'intérieur, indique que cet appareil est enclenché par serrure Bouré. Le numéro placé à l'intérieur du cercle est celui de l'appareil, et le numéro placé à l'extérieur indique le type de la serrure.

Ainsi la notation



signifie que le taquet 3 est enclenché par une serrure Bouré (1-2.)

L'aiguille 2 et le taquet T_2 sont très éloignés du bâtiment principal ; on aurait pu y appliquer le même appareil

de transmission qu'à Bois-le-Roi; mais on a préféré les traiter comme un petit poste indépendant enclenché sans serrure centrale.

Pour cela, un deuxième levier du disque protégeant la voie 2 a été établi près de ces appareils, vis-à-vis du taquet T_2.

Les enclenchements à réaliser sont les suivants :

$$\frac{\text{Disque 2N}}{\text{Aiguille 2N} + \text{Taquet 2N}}.$$

Le deuxième levier du disque est muni d'une serrure D_2.

Le taquet T_2 est muni d'une serrure agencée à deux clefs D_2 et $(2)_a$, dans laquelle D_2 est conjuguée avec la clef fixe et $(2)_a$ avec D_2.

Enfin l'aiguille 2 est munie d'une serrure $(2)_a$.

Normalement le levier du disque est libre. La clef D_2 est donc prisonnière dans sa serrure, et, par suite, le taquet T_2 est enclenché, et la clef $(2)_a$ prisonnière dans la serrure de celui-ci. Il en résulte que l'aiguille 2 est elle-même enclenchée.

Pour manœuvrer le taquet T_2 et l'aiguille 2, il faut :

1° Mettre le disque à l'arrêt et retirer de sa serrure la clef D_2 ;

2° Porter cette clef D_2 à la serrure du taquet, faire manœuvrer la clef fixe, en retirer la clef $(2)_a$, ce qui y emprisonne la clef D_2, puis abattre ce taquet ;

3° Porter la clef $(2)_a$ à la serrure du levier de l'aiguille 2 et libérer ce levier.

Inversement, pour remettre le disque à voie libre, une fois la manœuvre effectuée, il faut fermer la serrure de l'aiguille 2, rapporter la clef $(2)_a$ dans la serrure du taquet, puis fermer la serrure de celui-ci, ce qui libère la clef D_2, et ouvrir ensuite la serrure D_2.

La serrure à deux clefs D_2 et $(2)_a$ conjuguées entre elles est désignée par la notation $D_2 + \frac{(2)_a}{D_2}$.

Les modes d'enclenchements de l'aiguille 2 et du taquet 2 seront donc représentés par les notations

$$\left(\frac{2}{S.B}\right)^{(2)_a} \qquad \left(\frac{T_2}{S.B}\right)^{D_2 + \frac{(2)_a}{D_2}}$$

Le programme de l'installation est résumé dans le tableau ci-dessous :

	APPAREILS munis de serrures Bouré	TYPES des serrures	NOMBRE DE SERRURES à une clef							NOMBRE DE SERRURES à plusieurs clefs	CLEFS de la serrure centrale
			D_1	D_2	S	$(2)_a$	1	2	(1-2)		
Poste central	Disque côté Paris	D_1	1	»	»	»	»	»	»	1	1
	Disque côté Pontoise	D_2	»	1	»	»	»	»	»	»	1
	Aiguilles 1-5	1	»	»	»	»	2	»	2	»	»
	Aiguilles 3 et 6	(1-2)	»	»	»	»	»	»	»	»	2
	Aiguilles 4 et 8	2	»	»	»	»	»	2	2	»	2
	Taquets 1-4	(1-2)	»	»	»	»	»	»	»	»	2
	Taquet 3	1	»	»	»	»	1	»	»	»	»
	Plaque 1	1	»	»	»	»	2	»	»	»	»
Poste A	2ᵉ levier du disque vers Pontoise	D_2	»	1	»	»	»	»	»	»	»
	Aiguille 2	$(2)_a$	»	»	»	1	»	»	»	»	»
	Taquet 2	$D_2 + \frac{(2)_a}{D_2}$	»	»	»	»	»	»	»	à 2 clefs $D_2 + \frac{(2)_a}{D_2}$	»
			1	2	»	1	5	2	4	1	8

La *fig.* 4, Pl. IX, indique l'aspect de la serrure centrale.

RÉSEAU DE L'ÉTAT.

Station de Berchères-les-Pierres (Ligne de Chartres à Orléans).

Les deux exemples que nous avons donnés s'appliquent à des lignes à double voie ; la station que nous envisa-

geons maintenant se trouve sur une ligne à voie unique.

Dans leur position normale, les signaux sont à l'arrêt, les aiguilles sont disposées pour la continuité des voies principales, et les taquets sont relevés.

La notation adoptée, analogue à celle employée sur le réseau du Nord, est la suivante :

Désignation des serrures et des clefs correspondantes	Forme des clefs	Appareils auxquels s'adaptent les serrures	Position dans laquelle les appareils sont immobilisés	Relations établies par la serrure centrale entre les différentes clefs
S_1		Signaux de la voie 1.	Arrêt.	S_1 conjuguée avec 1 et (1-2).
S_2		Signaux de la voie 2.	Arrêt.	S_2 conjuguée avec 2 et (1-2).
1		Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie 1.	Position dans laquelle l'appareil interdit l'accès de la voie 1.	1 conjuguée avec S_1.
2		Appareils qui commandent les manœuvres engageant la voie 2.	Position dans laquelle l'appareil interdit l'accès de la voie 2.	2 conjuguée avec S_2.
(1-2)		Appareils qui commandent les manœuvres engageant les voies 1 et 2.	Position dans laquelle l'appareil interdit l'accès des voies 1 et 2.	(1-2) conjuguée avec S_1 et S_2.

La *fig.* 5, Pl. IX, indique la disposition des voies et des signaux, à la station de Berchères-les-Pierres.

Comme on le voit sur cette figure, la gare comprend

une voie principale directe 2, une voie d'évitement 1 sur laquelle on ne reçoit les trains qu'en cas de croisement, et diverses voies de garage.

Les enclenchements à réaliser sont les suivants :

$$\frac{\text{Disque 1R}}{\text{Aiguilles 1, 3, 6, 8, N + Taquets 3, 4, 6, N}}$$

$$\frac{\text{Disque 2R}}{\text{Aiguilles 3, 6, 8, N + Taquets 3, 4, 6, N}}$$

Les aiguilles 4, 5 et 7, n'intéressant que des voies de manœuvre, n'entreront pas dans les combinaisons d'enclenchements.

Comme pour la manœuvre la plus compliquée, qui consiste à faire passer un véhicule de la voie de garage 3, sur une des voies de garage 4 ou 6, il suffit, les disques étant à l'arrêt, de libérer 4 appareils, l'aiguille 1, l'aiguille 2, l'aiguille 3 et le taquet des voies 4 et 5, le nombre des clefs 1-2 de la serrure centrale peut être limité à 4.

Une seule clef S_1 est disponible à la serrure centrale, de telle sorte qu'il est impossible d'ouvrir à la fois les signaux avancés des deux directions; on n'a dès lors pas à redouter de collision, en cas de croisement, si un des trains vient à dépasser l'aiguille de sortie de la gare. Mais il peut y avoir des difficultés pour les gares qui, retirées du service, sont traversées sans arrêt par des trains de nuit, et doivent alors avoir leurs deux signaux effacés à la fois. Pour permettre, la nuit, le libre passage des trains, sans renoncer, pendant la journée, à la garantie de l'enclenchement des signaux, on confie une seconde clef au chef de gare, qui doit la conserver lui-même, et n'en faire usage que pour retirer la gare du service.

Le programme de l'installation est résumé dans le tableau ci-dessous :

APPAREILS munis de serrures Bouré	TYPE des serrures	NOMBRE DE SERRURES à une clef					CLEFS de la serrure centrale
		S_1	S_2	1	2	(1-2)	
Signal avancé n° 1	S_1	1	»	»	»	»	1 clef S_1
Signal avancé n° 2	S_1	1	»	»	»	»	
Aiguilles 1, 2, 3, 6 et 8	(1-2)	»	»	»	»	5	4 clefs (1-2)
Taquets d'arrêt des voies 3, 4 et 6	(1-2)	»	»	»	»	3	
	TOTAUX	2	»	»	»	8	

L'aspect de la serrure centrale est indiqué sur la *fig.* 6, Pl. IX ; un emplacement a été réservé sur la droite, pour le cas où l'on voudrait renoncer à l'enclenchement existant entre les deux signaux avancés.

RÉSEAU DU NORD.

Station de Marseille-le-Petit (*Ligne de Paris au Tréport*).

Les trois exemples précédents s'appliquent à des cas usuels, et l'on pourrait en prendre des centaines d'analogues ; nous allons maintenant montrer comment la Compagnie du Nord vient, tout récemment, d'appliquer les serrures Bouré aux gares des lignes à voie unique, franchies sans arrêt par des trains express, pour obtenir que les aiguilles en pointe situées sur les voies principales soient bien disposées pour le train à recevoir et soient bien en contact avec le rail contre-aiguille dans cette position, que les deux aiguilles de déboublement soient en concordance de position et de régime, suivant le service à faire, et éviter, quand le block-system existe, que deux trains de sens contraire puissent être reçus sur la même voie dans une station.

Nous prendrons, comme exemple, la station de Marseille-le-Petit, sur la ligne de Paris au Tréport.

Cette station comprend une voie principale directe, à l'opposé du bâtiment des voyageurs, pour le passage des express, une voie principale déviée, le long du bâtiment des voyageurs, sur laquelle on reçoit, pour faciliter le service, les trains omnibus des deux sens. Lorsque deux trains doivent se croiser, chacun d'eux est, en principe, dirigé sur la voie de gauche, mais, lorsque l'un d'eux est un express, et l'autre un train omnibus, il y a intérêt à amener ce dernier à côté du bâtiment des voyageurs, en sorte que l'on peut être conduit à diriger chaque train sur la voie de droite.

Deux aiguilles placées sur la voie principale déviée donnent accès aux voies de garage.

La station est protégée par deux disques à distance, et deux disques de ralentissement à 3 kilomètres, qui sont fermés quand l'aiguille de dédoublement qu'ils protègent est faite pour la voie déviée.

Le croquis de la disposition des voies et signaux (Voir *fig.* 7, Pl. IX) indique deux électro-sémaphores qui ne sont pas encore installés en réalité ; ils doivent servir de signaux de block-system de voie unique.

Nous n'avons rien de particulier à signaler pour la protection des voies principales ; comme dans l'exemple précédent, les appareils permettant d'engager ces voies sont conjugués avec les deux disques à distance.

Aiguilles de débloublement de la voie unique. — Le levier des signaux de ralentissement manœuvre en même temps le verrou de l'aiguille de dédoublement correspondante, qui ne peut d'ailleurs être lancé que lorsque l'aiguille donne la voie directe, la tringle d'écartement de ces aiguilles n'ayant qu'un trou correspondant à cette direction. Pour le passage des express, les deux aiguilles sont faites pour la voie directe, et les disques de ralentissement sont effacés.

Pour la réception des trains omnibus, les signaux de ralentissement sont à l'arrêt et les deux aiguilles de dédoublement sont faites pour la voie déviée ; elles sont boulonnées dans cette position, et les agents de la gare sont dispensés de les visiter.

En cas de croisement, les aiguilles de dédoublement donnent, l'une la voie directe, l'autre la voie déviée ; dans cette position, elles doivent être rendues talonnables ; il faut que le boulon de calage ou le verrou soit retiré, et que l'on se borne à munir le levier d'une cheville cadenassée. Comme nous l'avons déjà dit d'ailleurs, on se réserve la faculté de diriger les trains à gauche ou à droite, suivant les cas.

Une consigne spéciale fixe, sur le réseau du Nord, les règles auxquelles doit se conformer le chef de station, lorsqu'il vient à modifier le régime et la position des aiguilles de dédoublement. L'application des serrures Bouré aux aiguilles de dédoublement a pour but de matérialiser ces prescriptions, en permettant d'effectuer ces diverses opérations sans qu'il puisse en résulter aucun inconvénient pour la sécurité.

A cet effet, l'installation comporte, pour chaque aiguille de dédoublement, l'aiguille 1 par exemple :

1° Sur le verrou :	Lancé pour voie I.	Une serrure V_1
	Retiré.	Une serrure 1″.
2° Sur le boulon de calage :	Fixé pour voie II.	Une serrure B_1
	Retiré.	Une serrure 1″.
3° Sur la cheville pour l'orientation à gauche :	Une serrure à 2 clefs.	$C_1 (I) + \frac{1''}{C_1 (I)}$.
4° Sur la cheville pour l'orientation à droite :	Une serrure à 2 clefs.	$C_1 (II) + \frac{1''}{C_1 (II)}$.

Les notations employées ont la signification suivante :

V_1. — Serrure du verrou de l'aiguille 1 ;
B_1. — Serrure du boulon de l'aiguille 1 ;
1″. — Serrure auxiliaire de l'aiguille 1 spéciale aux lignes à voie unique.

$C_1(I) + \frac{1^u}{C_1(I)}$ est une serrure placée sur la cheville de l'aiguille 1 pour la direction de la voie I; on peut l'ouvrir avec une clef $C_1(I)$, et cette ouverture de la serrure dégagera la clef 1^u; on ne pourra refermer la serrure en question avec la clef $C_1(1)$, qui est prisonnière, que quand la clef 1^u aura été rapportée à sa place sur la serrure.

$C_1(II) + \frac{1^u}{C_1(II)}$ est une serrure analogue placée sur la cheville de l'aiguille I, pour la direction de la voie II.

Les clefs V_1, B_1, $C_1(I)$, $C_1(II)$ vont à la serrure centrale (Voir *fig.* 8, Pl. IX), dans les cases qui leur sont respectivement réservées, les unes au-dessous des autres, dans une même colonne verticale correspondant à chaque aiguille.

Il n'y a qu'une seule clef auxiliaire 1^u pour les quatre jeux de serrures.

Supposons qu'on veuille disposer l'aiguille pour le passage d'un train express : on place la clef 1^u sur la serrure 1^u correspondant au verrou ; il en résulte que le boulon n'est pas fixé, et que les chevilles pour la gauche et la droite ne sont pas cadenassées.

La serrure 1^u du verrou dégagé est alors ouverte, et le verrou devenu libre peut être lancé, si l'aiguille 1 est faite pour la voie directe. On l'immobilise dans cette position « lancé » par la serrure V_1, et la clef V_1 peut être rapportée à la serrure centrale dans la case *ad hoc* de la colonne verticale correspondant à l'aiguille I.

On ne peut apporter que cette clef V_1 correspondant à l'aiguille 1 ; car, la clef 1^u étant unique, on ne peut agir que sur un jeu de serrures à la fois, pour l'aiguille 1.

Le transport, à la serrure centrale, de cette clef V_1 est donc la manifestation matérielle de la position de l'aiguille 1 et de son mode d'immobilisation.

On agira de même pour l'autre aiguille de dédoublement (8).

Les enclenchements sont tels, dans la serrure centrale, que les clefs des disques à distance ne peuvent être libérées, pour la mise à voie libre de ceux-ci, qu'autant que les deux clefs caractéristiques du régime des deux aiguilles de dédoublement sont sur une même horizontale, autrement dit, que s'il y a concordance entre les régimes de ces deux aiguilles.

Une fois les clefs V_1 et V_8 en place, on peut mettre à voie libre les deux disques à distance, et tout est disposé pour le passage de l'express attendu.

Tant que les signaux restent à voie libre, il n'est pas possible de modifier le régime des aiguilles de dédoublement.

Si, par erreur, deux agents apportaient à la fois, des aiguilles I et 8, des clefs correspondant à des régimes différents, il ne serait pas possible d'ouvrir les signaux avancés, et un train survenant s'arrêterait avant la première aiguille, sans qu'il y ait d'accident à craindre.

Aiguilles donnant accès aux voies de garage. — Elles sont immobilisées dans leur position normale par un boulon de calage claveté. Les enclenchements réalisés sont tels que la clavette de ce boulon est fixée dans le boulon par une serrure, et qu'on ne peut ouvrir cette serrure, pour faire une manœuvre par exemple, qu'après avoir mis à l'arrêt les deux disques à distance de la station.

Comme une aiguille ainsi boulonnée n'est pas talonnable, il faut, avant d'effectuer la manœuvre, prendre la précaution d'enlever la clavette du boulon, et cette précaution est rendue nécessaire par l'enclenchement qui oblige à immobiliser, par une seconde serrure, la clavette retirée.

La fermeture de cette seconde serrure donne précisé-

ment la clef indispensable pour ouvrir le taquet qui protège, en talon, l'aiguille boulonnée.

Pour manœuvrer sur une aiguille telle que 2, il faut, en outre, rendre talonnable l'aiguille 1, et pour cela on emploie une serrure auxiliaire du type général 1".

Les enclenchements de l'aiguille 2 s'écrivent :

$\frac{B_2}{S.B}$ (cercle) Boulon fixe 1" ;
Boulon dégagé B_2 ;

ce qui doit se lire :

L'aiguille 2 est enclenchée par l'intermédiaire de son boulon, lequel est maintenu dans la position fixée par une serrure 1", et dans la position dégagée par une serrure B_2 (serrure du boulon de l'aiguille 2).

Les enclenchements du taquet correspondant s'écrivent :

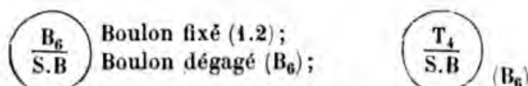
$\frac{T_2}{S.B}$ (cercle) (B_2)

ce qui veut dire que le taquet 2 est enclenché par une serrure B_2, c'est-à-dire ayant la même clef que celle qui immobilise le boulon dégagé de l'aiguille 2.

En d'autres termes, pour abaisser le taquet, l'enclenchement exige que l'on ait préalablement déboulonné l'aiguille 2. Or on n'a pu déboulonner celle-ci qu'en employant la clef unique 1", qui va sur le jeu de serrures de l'aiguille 1 ; on a alors l'assurance que le verrou et le boulon de cette dernière aiguille 6 sont dégagés, et qu'en conséquence elle est rendue talonnable.

Comme les manœuvres faites sur l'aiguille 6 n'engagent pas, en talon, l'aiguille 8, on a employé, au lieu d'une serrure 1", une serrure du type Nord (1-2). Les enclenchements de l'aiguille 6 et du taquet 6 sont représentés

par les notations :



qui se lisent de la même manière que les précédentes.

Relations avec les sémaphores. — Le problème à résoudre est d'éviter que deux trains de sens contraire puissent être reçus dans la station sur la même voie.

Les deux petits bras des électro-sémaphores Lartigue sont maintenus, dans leur position normale, par deux serrures Bouré, dont les clefs vont à la serrure centrale. On ne peut, de la station précédente, déclencher le petit bras de ce poste, que si la serrure qui l'immobilise est ouverte, et ce déclenchement est nécessaire pour obtenir l'abaissement des grandes ailes au poste précédent, et permettre l'expédition du train vers la station.

Dès lors le chef de station ne pourra autoriser simultanément l'envoi, vers sa gare, de deux trains de sens contraire, sans avoir préalablement disposé chaque aiguille de dédoublement pour le régime de croisement, c'est-à-dire sans les avoir munies, toutes deux, d'une cheville cadenassée pour les rendre talonnables, et les avoir faites, chacune, dans la direction d'une voie différente.

Cette description paraît, au premier abord, un peu compliquée ; mais, dans la pratique, on est étonné de voir comme les agents des gares, qui accueillent d'abord ces installations avec méfiance, se mettent vite au courant des manœuvres.

Nous croyons que cette ingénieuse application des serrures Bouré, faite par la Compagnie du Nord, place dans des conditions de sécurité aussi complètes que possible les stations des lignes à voie unique traversées en vitesse par des trains express. Elle montre également la

souplesse dont le système est susceptible, lorsqu'il s'agit d'assurer des liaisons entre les organes les plus divers.

RÉSULTATS DE L'APPLICATION DES SERRURES BOURÉ.

Au point de vue théorique, pour les serrures Bouré comme pour les cadenas, il serait possible à un agent de dérober ou de fabriquer une clef, qui lui permettrait de libérer un appareil sans mettre nécessairement à l'arrêt les signaux correspondants. Cette manœuvre irrégulière est facile à cacher avec un cadenas, puisque, celui-ci une fois ouvert, l'agent peut retirer la clef et la cacher. Dans ce cas, il est difficile de s'apercevoir de la fraude commise, puisque l'on ne peut savoir si le cadenas a été ouvert avec une deuxième clef, ou si l'agent qui l'avait précédemment ouvert n'avait pas rapporté la clef, sans l'avoir régulièrement refermé. Avec les serrures Bouré, il n'est pas possible de retirer la fausse clef, quand une serrure est ouverte, puisqu'elle reste emprisonnée dans la partie mobile de la serrure. Il y a là un fait qui faciliterait la découverte de l'acte de malveillance commis.

L'usage prolongé des serrures Bouré n'a fait ressortir que quelques inconvénients sans importance et auxquels il est facile de remédier.

Il y a eu notamment, surtout au début, quelques bris de clefs dus principalement à ce que les serrures, après leur ouverture, ont été placées par les agents dans une position où elles pouvaient être atteintes soit par les machines ou les wagons, soit par les chevaux de manœuvre.

On y a remédié en disposant près des serrures de petites planchettes à rebord, sur lesquelles les agents ont la consigne de toujours placer l'agrafe lorsqu'elle est séparée de l'armature.

Dans les climats froids, la rainure formée par les deux parties de la serrure, après leur réunion, peut laisser pénétrer du givre ou de la neige, qui, une fois congelés, rendent très difficile la séparation; des ruptures ont été causées par les chocs auxquels on a dû les soumettre pour pouvoir les ouvrir.

Pour éviter cet inconvénient, on a recouvert les serrures de manchons en tôle galvanisée, qui empêchent, en outre, la poussière de s'y introduire.

Le cas de rupture ou de perte d'une clef a d'ailleurs été prévu, et, afin de pouvoir remédier promptement à un accident de cette nature, on met en réserve, dans le bureau du chef de gare, une clef de chacun des types de celles qui sont en service.

Il est seulement essentiel que l'utilisation des clefs de serrure soit soumise à une surveillance très sévère. La présence, dans les mains du personnel d'une gare, d'une clef supplémentaire, peut supprimer complètement certains enclenchements essentiels.

Voici, par exemple, la consigne en vigueur sur le réseau de l'État :

« Des clefs de secours de chaque type sont déposées à « la gare afin de permettre de remplacer une clef en ser- « vice qui serait égarée ou hors d'état de fonctionner. Ces « clefs de secours sont embrochées sur un râtelier auquel « chacune d'elles est fixée par une ficelle scellée à la cire, « au moyen d'un cachet spécial, par l'Inspecteur de la sec- « tion.

« Chaque fois qu'un scellé a été brisé, le chef de gare « doit en informer immédiatement l'Inspecteur de section, « en lui désignant la clef de secours qu'il a dû utiliser. « L'Inspecteur de section, dépositaire d'un certain nombre « de clefs de réserve, se rend sur place, sans retard, en « emportant une clef du type voulu, et procède à une « enquête sur les causes qui ont rendu nécessaire l'em-

« ploi de la clef de secours, afin d'en rendre compte à « l'Inspecteur principal de l'arrondissement. Il remplace « sur le râtelier, au moyen de la clef de réserve, la clef « de secours utilisée et rétablit le scellé.

« *Si une clef en service, après avoir été momentané- « ment égarée et remplacée par une clef de secours, est « retrouvée, elle doit être remise immédiatement au « chef de gare, qui, après s'être assuré qu'elle n'est pas « avariée, l'envoie d'urgence à l'Inspecteur de section,* « pour que celui-ci puisse la mettre en réserve.

« Toute clef en service reconnue avariée, et qui doit être « remplacée par une clef de secours, doit immédiatement « être envoyée à l'Inspecteur de section ; si elle ne peut « être réparée pour être replacée en réserve, cette clef « doit être envoyée par l'Inspecteur à l'Inspecteur prin- « cipal de l'arrondissement, qui la fait immédiatement « détruire. »

Des règles analogues sont adoptées sur les réseaux du Nord et Paris-Lyon-Méditerranée.

CONCLUSIONS.

En résumé, le système d'enclenchements par serrures Bouré est sorti de la période d'essais, et son application en grand n'a révélé aucun inconvénient sérieux.

Nous considérons ces appareils comme constituant, tant au point de vue de la sécurité qu'en raison de leur prix modique, une solution des plus heureuses pour la protection des petites gares.

Les serrures Bouré ont d'ailleurs été l'objet, dans le courant de l'année 1897, d'une enquête administrative sur les trois réseaux de l'État, du Nord et du Paris-Lyon-Méditerranée, et, conformément à l'avis du comité de l'exploitation technique des chemins de fer, une circulaire

de M. le Ministre des Travaux publics du 29 octobre 1898, adressée aux Compagnies de chemins de fer, a recommandé la généralisation du système, *au moins sur les lignes principales et notamment dans les gares traversées par des trains sans arrêt et non munies encore d'autres appareils d'enclenchement.*

Il est permis d'espérer que l'extension de l'application des serrures Bouré permettra d'entreprendre bientôt la revision de la circulaire ministérielle du 6 août 1883, et de prescrire, pour toutes les gares, l'enclenchement avec les signaux, des aiguilles et taquets pouvant intéresser les voies principales, de manière que les aiguilles ou taquets ne puissent permettre l'accès de ces voies, sans que les signaux soient à l'arrêt.

Janvier 1899.

ÉTAT DES GARES POURVUES DE SERRURES BOURÉ

A LA DATE DU 1er JANVIER 1899.

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES		NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
	à une clef	à clefs multiples		
FRANCE				
ÉTAT				
Bailleau-le-Pin	7	»	7	
Belleville-Vendée	8	»	6	Gare de ligne à voie unique
Berchères-les-Pierres	10	»	5	Gare de ligne à voie unique
Blon	8	»	8	
Bois-Mouchet (Le)	3	1	»	
Boursay-Saint-Agil	12	»	10	
Brezé Saint-Cyr-en-Bourg	8	»	8	
Brion-sur-Thouet	9	»	8	
Chacé-Varrains	8	»	8	
Chahaignes	8	»	8	
Champdeniers	13	»	10	
Chartre-sur-le-Loir (La)	8	»	8	
Château-la-Vallière	12	»	10	
Chenu	8	»	8	
Droué	13	»	7	
Fors	8	»	5	Gare de ligne à voie unique
Illiers	13	»	10	
Linières-Bouton	8	»	8	
Magny-Blandainville	3	1	»	
Marçon-Vouvray	8	»	8	
Meigné	3	1	»	
Mondoubleau	14	»	10	
Noyant-Méon	12	»	10	
Paimbœuf	2	1	»	Embranchem. particulier.
Pons	5	»	4	Embranchem. particulier.
Ruillé-Poncé	8	»	8	
Saint-Aubin-la-Bruère	3	1	»	
Savigny-sur-Braye	14	»	10	
Tanchet-Lublé (Le)	8	»	8	
Taye (La)	12	»	10	
Vernantes	12	»	10	
Vieuvicq	3	1	»	
TOTAUX POUR L'ÉTAT	271	6	212	
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE				
Aiguebelle	12	»	6	
Aigues-Vives	12	»	10	
Aiserey	7	»	5	
Aix-les-Bains	5	»	5	
A reporter	36	»	26	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES		NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
	à une clef	à clefs multiples		
Report........	36	»	26	
Ampuis	7	»	7	
Andance	7	»	5	
Andancette	9	»	7	
Aramon	15	»	9	
Bagnols	11	»	8	
Baix	7	»	5	
Balbigny	15	4	9	
Bandol	11	1	8	
Barbentane	22	»	10	
Béard	8	»	6	
Beauchastel	8	»	6	
Berre	8	»	6	
Bessay	6	»	6	
Blancarde (La)	4	»	3	
Boën	16	»	19	
Bois-le-Roi	12	»	8	
Bollène-la-Croisière	15	»	8	
Bonny	9	»	7	
Bonson	18	»	11	
Brazey-en-Plaine	7	»	9	
Brignoud	7	»	6	
Chamelet	7	»	4	
Champagne	9	»	7	
Chantenay-Saint-Imbert	6	»	6	
Chamousset	9	»	7	
Charmes-Saint-Georges-les-Bains	8	»	6	
Chartrettes	11	»	8	
Chateauneuf	9	»	7	
Châtelay	8	»	6	
Châtillon-d'Azergues	5	»	5	
Chavanay	8	»	6	
Chazay-Marcilly	8	»	6	
Chères (Les) Chasselay	8	»	6	
Chessy	5	»	5	
Cheval-Blanc	7	»	5	
Chignin-les-Marches	7	»	5	
Collonges (Ain)	5	»	5	
Condrieu	10	»	6	
Corbeil	29	8	27	
Coudray-Montceaux	8	»	6	
Coulanges-sur-Yonne	11	»	9	
Courthezon	7	»	6	
Crèches	11	»	9	
Créchy	7	»	7	
Cruet	5	»	5	
Cuers-Pierrefeu	10	»	8	
Domène	11	»	8	
Dommartin-les-Cuiseaux	9	»	8	
Donzère	14	»	8	
Draveil-Vigneux	9	»	7	
Ecully la Demi-Lune	9	»	6	
Etoile	9	»	8	
Ferrières-Fontenay	12	4	8	
Feurs	12	2	8	
Feysin	10	»	8	
A reporter....	571	19	435	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	571	19	435	
Fontaine-le-Port	10	»	7	
Fontaines	12	»	9	
Fouillouse (La)	20	»	10	
Fourchambault	12	»	9	
Fours	8	»	6	
Fréjus	13	»	7	
Gadagne	5	»	5	
Gémeaux	8	»	6	
Genlis	14	»	10	
Gerzat	9	»	7	
Gières	10	»	6	
Gonfaron	11	»	7	
Grand-Contour	10	»	8	
Grande-Paroisse (La)	8	»	6	
Grandris-Allières	5	»	5	
Grandvillars	8	»	6	
Grans	7	»	6	
Héricy	8	»	8	
Hôpital (L') du Gros-Bois	10	2	6	
Imphy	12	»	10	
Jarrie-Vizille	12	»	8	
Joigny	21	»	12	
Lachamp-Condillac	10	»	8	
Lamanon	5	»	5	
Lamarche	10	»	7	
Lancey	7	»	6	
Lédenon	9	»	7	
Lieusaint	14	4	8	
Loire	5	»	5	
Louhans	18	2	12	
Luc (Le) et le Cannet	12	»	10	
Mantoche	9	»	5	
Marguerittes	8	»	6	
Mauves (Ardèche)	7	»	7	
Melun	41	14	12	
Mennecy	13	»	10	
Mesvres	8	»	6	
Meximieux	14	1	7	
Miribel	10	»	8	
Montbard	20	»	13	
Montbarrey	8	»	6	
Montbrison	13	4	10	
Monteignet-Escuroles	6	»	6	
Montélimar	14	1	8	
Montfavet	5	»	5	
Montmaur	8	»	6	
Montmélian	4	»	3	
Montrond	10	2	5	
Mornas	6	»	6	
Navilly	9	»	8	
Neuvy-sur-Loire	9	»	5	
Nogent-sur-Vernisson	8	»	6	
Nuits-Saint-Georges	15	»	13	
Orgon	9	»	6	
Oullins	19	»	10	
A reporter	1167	49	844	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	1167	49	844	
Pagny (Côte-d'Or)	10	»	8	
Peyraud	13	»	7	
Polliat	10	»	8	
Pontcharra-sur-Bréda	12	»	8	
Pont-d'Ain	15	»	8	
Ponthierry-Pringy	13	2	8	
Pouzin (Le)	4	»	2	
Praz (La)	7	»	5	
Pyrimont	9	»	7	
Remilly (Nièvre)	8	»	6	
Renardière (La)	6	»	6	
Rochemaure	7	»	5	
Roquebrune	6	»	6	
Rossillon	10	»	6	
Sarliéves-Cournon	8	»	6	
Sarras	9	»	7	
Saulon	7	»	7	
Saulce	9	»	6	
Sénas	7	»	7	
Serrières	10	»	8	
Serves-Erôme	7	»	7	
Seyne (La) Tamaris-sur-Mer	14	»	10	
Seyssel-Corbonod	11	»	7	
Solliès-Pont	10	»	8	
Solterres	7	»	7	
Sorgues	10	»	7	
Soyons	8	»	4	
Saint-Bonnet-en-Bresse	9	»	7	
Saint-Chamas	14	»	10	
Sainte-Colombe-les-Vienne	11	»	7	
Sainte-Croix	9	»	8	
Saint-Didier (Saône-et-Loire)	8	»	6	
Saint-Fargeau-Seine-Port	4	»	4	
Saint-Galmier-Veauche	12	2	6	
Saint-Georges	11	»	9	
Saint-Germain-du-Bois-Devrouse	9	»	8	
Saint-Gervasy-Bezunce	8	»	6	
Sainte-Hélène-du-Lac	9	»	7	
Saint-Jodard	6	»	4	
Saint-Julien-Clénay	10	»	8	
Saint-Martin-de-Crau	17	»	15	
Saint-Péray	13	»	8	
Saint-Pierre-de-Bœuf	8	»	6	
Saint-Rambert-en-Bugey	11	»	7	
Saint Rémy (Allier)	6	»	6	
Saint-Romain-en-Gier	7	»	7	
Saint-Saturnin-d'Avignon	6	»	5	
Saint-Vallier	15	1	9	
Tain	8	»	7	
Talmay	11	»	8	
Tanlay	13	»	10	
Ternand	7	»	7	
Théziers	8	»	5	
Thor (Le)	5	»	5	
Tournon	15	1	5	
A reporter...	1684	55	1225	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	1684	55	1225	
Trèves-Burel	10	»	10	
Vavrette-Tossiat (La)	6	»	5	
Vendranges-Saint-Priest	8	»	8	
Vergèze	14	»	13	
Verneuil	8	»	6	
Vernou	8	»	6	
Vichy	12	1	5	
Vic-le-Comte	14	»	12	
Villeneuve-sur-Yonne	17	1	9	
Vincelles	12	»	12	
Vion	9	»	7	
Vonnas	10	»	7	
Voreppe	10	»	8	
Vosves	4	»	4	
Totaux pour le P.-L.-M.	1826	57	1337	

NORD

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Abbeville	23	1	8	
Achiet	8	»	8	
Ailly-sur-Noye	12	»	8	
Ailly-sur-Somme	7	»	6	
Albert	13	1	8	
Ambleny-Fontenoy	13	»	8	
Anizy-Pinon	18	»	10	
Appilly	8	»	4	
Arnèke	10	»	7	
Arras	19	5	6	Installation provisoire.
Arrêt des 3 Ponts	3	1	3	Id.
Artres	27	2	11	
Ascq	18	2	12	
Athies	5	»	5	
Attichy	15	2	8	
Aubervilliers	7	1	5	
Audruick	6	»	5	
Aulnay-les-Bondy	6	3	3	
Auvers	13	2	11	
Avesnes	42	3	29	
Bacouel	15	1	9	
Bailleul	24	6	18	
Baisieux	18	»	8	
Balagny-Saint-Epin	5	2	3	
Beaucourt-Hamel	12	1	11	
Beaurainville	16	4	11	Gare de ligne à voie unique
Bergues	17	1	8	
Bertry	12	»	8	
Berzy	9	»	7	
Bessancourt	5	»	5	
Béthisy-Saint-Pierre	10	2	8	
Billy-Montigny	6	»	4	
Blanc-Misseron	18	1	15	
A reporter	440	41	280	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report.........	440	41	280	
Bohain	22	»	17	
Boisleux	19	1	11	
Boissière (La). Le Déluge	2	»	»	
Boran	13	2	7	
Bornel	7	3	»	
Bouchain	8	»	6	
Boué	6	»	6	
Bourget (Le). Drancy	9	»	7	
Bouteille (La)	6	»	5	
Boves	27	1	13	
Breteuil (embranchement)	8	1	6	
Buchy	18	1	8	
Bucy-lès-Pierrepont	12	»	7	
Buironfosse	8	»	6	
Bully-Grenay	11	1	6	
Caffiers	23	1	14	
Cambrai-Ville	3	1	»	
Capelle (La)	9	3	7	
Cartigny	29	9	17	Gare de ligne à voie unique
Cassel	10	»	8	
Catteniéres	12	»	9	
Caudry	27	2	12	
Cauly-Grand-Fresnoy	12	»	7	
Chailvet	18	»	12	
Chambly	5	2	»	
Chantilly	12	»	8	
Chauny	23	»	16	
Chivres	6	»	5	
Chocques	19	2	10	
Cires-les-Mello	17	3	12	
Clairefontaine	8	»	6	
Clermont-lès-Fermes	6	»	5	
Conchil-le-Temple	13	»	8	
Corbehem	20	1	9	
Corbie	13	1	8	
Cramoisy	19	1	14	
Crépy-Couvron	19	3	10	
Critot	14	4	13	Gare de ligne à voie unique
Croix-Wasquehal	8	1	7	
Crouy	25	»	11	
Dammartin	21	»	15	
Darnetal	20	»	15	
Deuil	4	»	4	
Dercy-Mortiers	33	»	15	
Domont	15	1	9	
Dompierre	12	2	9	
Dompierre-Ferrières	18	7	13	
Doullens	4	1	»	Embranchem. particulier.
Dourges	7	»	5	
Duvy	10	»	7	
Ebblinggen	14	»	8	
Ecouen	9	1	5	
Epéhy	21	8	16	Gare de ligne à voie unique
Ermont (halte)	4	»	4	
Esquelbecq	8	»	6	
A reporter....	1186	105	744	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report........	1186	105	744	
Essigny-le-Petit	12	1	7	
Etaples	29	»	17	
Etreux	14	2	8	
Faloise (La)	9	»	6	
Famechon	14	1	8	
Farbus	15	1	10	
Faucoury-Monceau	17	7	13	Gare de ligne à voie unique
Fère (La)	26	1	14	
Ferrière-la-Grande	6	»	4	Embranchem. particulier
Feuquières-Broquiers	3	1	3	Embranchem. particulier
Fives	4	»	4	
Flavy-le-Martel	18	»	15	
Formerie	18	1	15	
Fouilloy	15	1	9	
Fouquereuil	21	»	12	
Franconville	6	»	5	
Fresnoy-le-Grand	19	1	15	
Frethun	2	»	»	
Frétin	9	3	8	
Gaillefontaine	11	1	8	
Gannes	10	»	8	
Goussainville	18	»	13	
Gouzeaucourt	19	7	15	
Groslay	4	»	4	
Guillaucourt	14	2	7	
Hachette	4	»	4	
Ham	20	»	14	
Ham	3	1	3	Embranchem. particulier
Hangest	8	»	6	
Hargicourt-Pierrepont	14	»	12	
Hattencourt	28	7	17	
Hénin-Liétard	15	2	10	
Hermes	9	»	6	
Hesdigneul	17	2	8	
Hornaing (Arrêt)	8	8	8	Embranchem. particulier
Isle-Adam (L')	19	2	13	
Iwuy	22	1	16	
Laboissière-Fescamps	19	9	20	Gare de ligne à voie unique
Lamotte-Breuil	7	»	6	
Landrecies	27	5	19	
Laon	3	1	»	Installation provisoire.
Leforest	27	1	17	
Lesquin	7	1	6	
Liancourt	12	»	7	
Libercourt	9	»	6	
Liesse-Gizy	11	»	8	
Lille (Porte d'Arras)	7	»	7	
Lille (Porte des Postes)	8	»	6	
Lillers	32	1	19	
Longpont	16	»	13	
Longpré	23	1	8	
Longueil-Sainte-Marie	13	»	6	
Longuerue	9	1	7	
Loos	8	1	6	
Louvres	16	3	11	
A reporter....	1940	182	1261	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report........	1940	182	1261	
Madeleine (La)	16	»	12	
Magny	6	2	5	
Maignelay-Montigny	21	7	16	Gare de ligne à voie unique
Marcelcave	7	»	6	
Marchélepot	28	7	17	Gare de ligne à voie unique
Marcoing	32	5	22	Gare de ligne à voie unique
Marck	16	4	11	Gare de ligne à voie unique
Margival	11	»	7	
Marle	30	2	13	
Marquise-Rinxent	28	»	8	
Marseille-le-Petit	16	4	11	Gare de ligne à voie unique
Mercin-Pommiers	12	»	7	
Méricourt	12	»	12	
Mériel	11	»	8	
Méru	8	1	7	
Méry	10	»	6	
Meux (Le)	12	3	7	
Milly	8	3	5	
Miraumont	13	3	8	
Mitry-Claye	20	»	15	
Montataire	4	2	4	
Montcornet	14	»	10	
Montescourt	7	2	6	
Montigny-Beauchamps	15	1	8	
Montigny-en-Ostrevent	6	»	4	
Moreuil	18	1	16	
Morgny	9	1	7	
Moulin-des-Loups (arrêt)	4	1	»	Embranchem. particulier
Mouvion (Le)	14	»	9	
Mouy	8	1	5	
Moyenneville	14	»	8	
Namps	6	3	5	
Nanteuil	17	3	13	
Neufchâtel	13	3	7	
Nesle	18	»	13	
Noeux	14	»	9	
Nointel	4	»	4	
Noyelles	15	2	7	
Noyon	21	2	18	
Ohis-Neuve-Maison	8	»	6	
Onnaing	14	1	9	
Origny	11	3	7	
Orrouy-Glaigues	14	»	11	
Orry-la-Ville	10	»	7	
Ors	2	1	»	
Ourscamp	17	1	15	
Paris	16	»	7	Installation provisoire
Pérenchies	10	1	10	Gare de ligne à voie unique
Péronne-Flamicourt	39	4	28	Gare de ligne à voie unique
Péronne-la-Chapelette	18	3	6	
Phalempin	18	»	7	
Picquigny	11	»	8	
Pierrefitte	4	»	4	
Pierrelaye	5	»	5	
Plaine (La)	2	»	»	
A reporter....	2677	250	1747	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	2677	259	1747	
Plainval	9	1	5	Embranchem. particulier
Plessis-Belleville (Le)	13	»	10	
Poix	9	1	6	
Poirier (Le)	6	1	4	
Pont-d'Ardres	8	»	5	
Pont-de-Briques	8	1	6	
Ponthoile	2	1	»	
Pont-lès-Brie	21	6	16	Gare de ligne à voie unique
Pont-Rémy	15	2	6	
Pont-Sainte-Maxence	14	»	8	
Précy	10	1	7	
Presles	15	»	8	
Quend	2	1	»	
Raismes	6	»	4	
Raismes (abords de)	6	6	6	Embranchem. particulier
Raismes-Vicogne	8	3	7	
Rang-du-Fliers	16	4	8	
Résigny	4	»	4	
Ribécourt	11	»	13	
Rieux-Angicourt	4	»	4	
Rochy-Condé	9	1	6	
Rœux	14	1	11	
Roisel	28	8	28	Gare de ligne à voie unique
Rosières	16	»	12	
Ronchin	5	»	5	
Roncq	19	4	15	Gare de ligne à voie unique
Roubaix	31	1	23	
Roye	54	16	36	Gare de ligne à voie unique
Rozoy-sur-Serre	11	»	8	
Rue	18	1	13	
Sains	21	»	14	
Saleux	14	2	8	
Samoussy	3	1	»	
Santes	2	1	»	
Sarcelles	14	1	6	
Saulzoir	21	6	15	Gare de ligne à voie unique
Savy-Berlette	4	1	»	Embranchem. particulier
Sevran	11	1	7	
Sommery	17	»	9	
Steenbecque	14	»	9	
Steenwerck	13	3	7	
Strazèele	11	4	5	
Survilliers	10	»	8	
Saint-André	21	»	15	
Saint-Gobert	16	2	8	
Saint-Just	15	»	9	
Saint-Leu	6	»	5	
Saint-Leu-d'Esserent	28	2	17	
Saint-Maximin	14	»	10	
Saint-Ouen-les-Docks	4	»	4	
Saint-Sulpice	4	1	»	
Taverny	12	»	7	
Thiennes	12	»	7	
Thourotte	8	»	4	
Tincourt-Boucly	17	2	6	Gare de ligne à voie unique
A reporter	3381	346	2211	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	3381	346	2211	
Tricot	9	1	6	
Vaumoise	16	»	8	
Vaux-Molain	9	3	7	
Versigny	6	2	4	
Vervins	25	»	10	
Vic-sur-Aisne	20	»	9	
Vierzy	6	1	4	
Villeparisis	4	»	4	
Villers-Bretonneux	13	1	6	
Villiers-le-Bel	9	1	6	Gare de ligne à voie unique
Violaines	21	4	13	
Vitry	13	1	7	
Voyenne	5	»	4	
Wallers	6	»	6	
Watten	23	»	12	
Wattignies. Temple Mars	4	»	4	
Wimille-Wimereux	12	»	9	
Woincourt	20	6	12	Gare de ligne à voie unique
TOTAUX POUR LE NORD	3602	366	2342	

EST

Barrières de passages à niveau ensemble	27	11	»
Oulchy-Breny	12	1	8
Neuilly-St-Front	5	»	5
TOTAUX POUR L'EST	44	12	13

ORLÉANS

Le Dorat	9	»	9

MIDI

Boussens	4	»	4
Carcassonne	2	»	»
Rion	15	»	11
Tonneins	2	1	»
TOTAUX POUR LE MIDI	23	1	15

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
CEINTURES				
Belleville-Villette	8	»	»	
Bièvres	8	»	6	
Jouy-en-Josas	10	»	8	
Longjumeau	10	»	6	
Massy-Palaiseau	15	»	»	
Paris-Bestiaux	4	1	»	
Poste du Pont-du-Docteur	12	»	12	
TOTAUX POUR LES CEINTURES	67	1	32	
ALGÉRIE				
EST-ALGÉRIEN				
Beni-Mançour	4	»	4	
El-Guerrah	2	1	4	
Kroubs	6	»	4	
Menerville	4	»	4	
TOTAUX POUR L'EST-ALGÉRIEN	16	1	16	
BONE-GUELMA				
Tunis (Poste A)	11	»	12	
Tunis (Poste B)	2	»	»	
TOTAUX POUR LE BONE-GUELMA	13	»	12	
BELGIQUE				
ÉTAT-BELGE				
Tronchiennes	10	»	10	
NORD-BELGE				
Ampsin	17	»	13	
Jemeppe (3 postes)	25	»	20	
Landelies	6	»	6	
Marche-les-Dames	8	»	6	
Namèche	8	»	8	
Sclaigneaux	8	»	6	
Val-Saint-Lambert	10	»	6	
A reporter	82	»	65	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
Report	82	»	65	
Raccordement de l'Agrappe	6	»	6	
— de Corphalie	6	»	6	
— de l'Espérance	11	»	8	
— de Fallon	6	»	6	
— de Flône	6	»	6	
— de Monoyer à Seilles	6	»	6	
— d'Ongrée	6	»	6	
— de Sarts-de-Seilles	6	»	6	
— de la Société anonyme des Aciéries d'Angleur à Renory	6	»	6	
— de la Société du charbonnage de Bois-d'Avroy et du Moulin d'Hauzeur au Val Benoît	8	»	6	
— de l'usine à Plomb (Société Dumont)	6	»	6	
— de Verlaines à Seilles	6	»	6	
TOTAUX POUR LE NORD-BELGE	161	»	139	

CHIMAY

Chimay	12	»	12	

ITALIE

MÉDITERRANNÉE

Busto Arsizio	4	»	4	
Camnago	12	»	8	
Desio	8	»	6	
Lissone-Muggio	8	»	6	
Milano	3	»	4	
Milano Porta-Romana	11	»	11	
Savona	3	»	3	
Torino	3	»	4	
TOTAUX POUR LA MÉDITERRANÉE	52	»	46	

ESPAGNE

NORD

El Caleyo	4	»	»	

TARRAGONE-BARCELONE-FRANCE

Cornella	6	»	6	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
CENTRAL CATALAN				
Piera	6	»	5	
PORTUGAL				
COMPAGNIE ROYALE				
Braço de Praia	10	»	11	
Campolide	6	1	7	
Totaux pour le Portugal	16	1	18	
AUTRICHE				
NORD-EMPEREUR-FERDINAND				
Hruschau	13	»	13	
Raynochowitz	6	»	6	
Totaux pour l'Autriche	19	»	19	
HONGRIE				
ÉTAT				
Beregszó	6	»	4	
Drahocz	6	»	4	
Totaux pour la Hongrie	12	»	8	
ÉGYPTE				
ÉTAT ÉGYPTIEN				
	57	16	56	Ces chiffres s'appliquent à 6 gares.

Voir Récapitulation générale d'autre part.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE.

DÉSIGNATION DES COMPAGNIES		NOMBRE de gares, embranchements particuliers ou passages à niveau	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
France.	État	32	271	6	212	
	Paris-Lyon-Méditerranée	183	1.826	57	1.337	
	Nord	275	3.602	366	2.342	
	Est	13	94	12	13	
	Orléans	1	9	»	9	
	Midi	4	23	1	15	
	Ceintures	7	67	1	32	
Algérie.	Est algérien	4	16	1	16	
	Bone-Guelma	2	13	»	12	
Belgique.	Etat belge	1	10	»	10	
	Nord belge	19	161	»	139	
	Chimay	1	12	»	12	
Italie.	Méditerranée	8	52	»	46	
Espagne.	Nord	1	4	»	»	
	Tarragone - Barcelone - France	1	6	»	6	
	Central - Catalan	1	6	»	5	
Portugal.	Compagnie Royale	2	16	1	18	
Autriche.	Nord - Empereur-Ferdinand	2	19	»	19	
Hongrie.	Etat	2	12	»	8	
Egypte.	Etat égyptien	6	57	16	56	
TOTAUX GÉNÉRAUX		565	6.226	461	4.307	

NOMS DES GARES	NOMBRE DE SERRURES à une clef	NOMBRE DE SERRURES à clefs multiples	NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
CENTRAL CATALAN				
Piera	6	»	5	
PORTUGAL				
COMPAGNIE ROYALE				
Braço de Prata	10	»	11	
Campolide	6	1	7	
TOTAUX POUR LE PORTUGAL	16	1	18	
AUTRICHE				
NORD-EMPEREUR-FERDINAND				
Hruschau	13	»	13	
Raynochowitz	6	»	6	
TOTAUX POUR L'AUTRICHE	19	»	19	
HONGRIE				
ÉTAT				
Beregszó	6	»	4	
Drahocz	6	»	4	
TOTAUX POUR LA HONGRIE	12	»	8	
ÉGYPTE				
ÉTAT ÉGYPTIEN				
	57	16	56	Ces chiffres s'appliquent à 6 gares.

Voir Récapitulation générale d'autre part.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE.

DÉSIGNATION DES COMPAGNIES		NOMBRE de gares, embranchements particuliers ou passages à niveau	NOMBRE DE SERRURES		NOMBRE de clefs des serrures centrales	OBSERVATIONS
			à une clef	à clefs multiples		
France.	État	32	271	6	212	
	Paris-Lyon-Méditerranée	183	1.826	57	1.337	
	Nord	275	3.602	366	2.342	
	Est	13	44	12	13	
	Orléans	1	9	»	9	
	Midi	4	23	1	15	
	Ceintures	7	67	1	32	
Algérie.	Est algérien	4	16	1	16	
	Bone-Guelma	2	13	»	12	
Belgique.	Etat belge	1	10	»	10	
	Nord belge	19	161	»	139	
	Chimay	1	12	»	12	
Italie.	Méditerranée	8	52	»	46	
Espagne.	Nord	1	4	»	»	
	Tarragone - Barcelone - France	1	6	»	6	
	Central - Catalan	1	6	»	5	
Portugal.	Compagnie Royale	2	16	1	18	
Autriche.	Nord - Empereur-Ferdinand	2	19	»	19	
Hongrie.	Etat	2	12	»	8	
Egypte.	Etat égyptien	6	57	16	56	
TOTAUX GÉNÉRAUX		565	6.226	461	4.307	

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'AUTRICHE EN 1897.

NATURE DES PRODUITS	QUANTITÉS	VALEURS	PRIX MOYENS
1° *Mines.*	tonnes	francs	fr. c
Houille	10.492.771	94.860.014	9,04
Lignite	20.458.092	99.008.525	4,84
Roches asphaltiques	300	21.904	73,01
Minerai de fer	1.613.876	9.302.139	5,76
— de plomb	14.145	2.869.891	202,89
— de cuivre	7.405	690.101	93,19
— de zinc	27.464	1.309.448	47,68
— d'étain	16	5.982	373,87
— d'or	647	81.357	125,74
— d'argent	20.628	4.623.348	224,13
— de mercure	88.238	2.010.726	22,79
— d'antimoine	864	181.419	209,97
— de manganèse	6.012	118.464	19,70
— de wolfram	31	47.542	1.533,61
— d'urane	44	111.177	2.526,75
— de soufre	530	11.947	22,54
Graphite	38.504	3.341.036	86,77
2° *Usines et salines.*			
Fonte	887.945	78.172.958	88,04
Plomb	9.680	3.893.239	402,20
Litharge	1.626	656.202	403,57
Cuivre	1.083	1.518.269	1.401,91
Sulfate de cuivre	276	143.285	519,15
Zinc	6.236	3.005.024	481,88
Etain	48	103.775	2.162,00
Mercure	532	2.939.599	5.525,56
Antimoine (régule et oxyde)	425	279.678	658,06
	kilogr.		
Or	68	231.380	3.402,64
Argent	40.026	4.822.460	120,48
Sels d'urane	4.443	105.029	23,64
	tonnes		
Sel	331.084	63.136.759	190,70

La valeur totale, en comptant divers produits non inscrits au tableau ci-dessus, s'est élevée à 218.642.308 francs pour les produits des mines, et à 96.763.821 francs pour ceux des usines.

(*Extrait du* Statistiches Jahrbuch des K. K. Ackerbau-Ministeriums für 1897.)

LE CUIVRE EN BOLIVIE.

Des renseignements sur les gîtes de cuivre de Bolivie viennent d'être publiés sous le titre *El Cobre en Bolivia*, par l'Office national d'immigration, de statistique et de propagande géographique à La Paz; ils peuvent, dans ce qu'ils ont d'essentiel, se résumer comme suit :

Les formations cuprifères de la Bolivie forment une ligne presque ininterrompue, qui va du Sud au Nord en suivant la direction générale de la chaîne orientale des Andes. Ces formations se poursuivent depuis Atacama, par Porco, Chayanta, département de Potosi, Turco, Poopo, Oruro, jusqu'à Corocoro et se prolongent encore au delà, par le département de La Paz, jusqu'aux frontières du Pérou. Parmi ces nombreux gisements, les seuls exploités depuis 1885 sont ceux de Corocoro, sur le haut plateau du Titicaca. En 1850, on exploitait également Chacarilla, dans le département de La Paz, et diverses mines d'Oruro et d'Atacama.

Corocoro, chef-lieu de la province de Pacajes, dans le département de La Paz, se trouve à l'altitude de 4.023 mètres ; c'est une ville de 5.620 habitants. Sa position à proximité du Desaguadero et d'un point où cette rivière, sortant du lac Titicaca, est encore navigable, favorise l'exportation. Des remorqueurs conduisent les barques chargées de cuivre jusqu'à Puno, port péruvien du lac ; là on charge le métal dans les wagons du chemin de fer aboutissant à Mollendo sur le Pacifique (520 kilomètres de voie ferrée). Il y a une deuxième route, purement terrestre, de Corocoro à Tacna (chemin muletier) et de Tacna à Arica, autre port du Pacifique (chemin de fer); mais, quoique plus directe, elle serait en réalité un peu moins avantageuse, s'il est exact que le transport d'un quintal espagnol revienne actuellement à 2 B. 49 (*) par la première et à 2 B. 12 par la seconde.

Une autre circonstance heureuse est la nature du terrain, à la fois assez tendre et assez résistant pour faciliter le travail dans les mines. Il ne contient, en outre, que très peu d'eau.

Les gisements de Corocoro sont situés dans des grès bariolés, qui ont été rattachés par Forbes au permien sans raison absolue

(*) Le bolivian, ou demi-piastre à bas titre, équivaut à $12^{gr},58$ d'argent, soit 2 fr. 50 au cours légal. La piastre, au titre de 900 p. 1000, vaut 5 fr. 40 et se divise en 100 centavos.

et dont on sait seulement qu'ils reposent en discordance sur le carbonifère. On y a découvert, en 1859, dans la mine Santa-Rosa, le squelette d'un animal intermédiaire entre le lama et le chameau, en partie transformé en cuivre natif : ce qui doit être en corrélation avec des phénomènes de remise en mouvement récents, dont la trace est manifeste dans tous les caractères du gisement.

Le cuivre se trouve dans deux systèmes de couches sédimentaires, qu'on a distinguées d'après leur inclinaison : les *vétas*, plus anciennes et plus redressées, formées de grès rouges ou violacés plus ou moins argileux, passant à un conglomérat quartzeux et ne contenant jamais de gypse ; les *ramos*, plus récents et plus rapprochés de l'horizontale, formés également de grès et conglomérats comparables aux précédents, mais souvent avec une couleur plus foncée de chocolat ou de café, et reconnaissables à leurs bancs de gypse intercalés. La formation des ramos, beaucoup plus étendue que l'autre, se prolonge, au Sud, à Chacarilla, au Nord vers Atacama et Antofagasta (*).

Le trait distinctif de ces gisements est l'abondance du cuivre natif sous les formes les plus variées, depuis celle de grains microscopiques jusqu'à celle de masses pesant plusieurs tonnes. On y trouve également de l'argent natif, non pas allié au cuivre mais au-dessous de lui : ce qui a fait supposer une précipitation électro-chimique. Il existe également des minerais à teneur sensible de nickel et de cuivre, que l'on néglige. La rareté du combustible sur le haut plateau ne permettant pas, d'ailleurs, de traiter par la fusion en grand les diverses combinaisons chimiques du métal, on se borne presque exclusivement à produire, par broyage, pulvérisation et lavage à grande eau, un minerai exportable, dont le titre ne soit pas inférieur à 70 p. 100. Il n'existe encore à Corocoro que deux fours, et tout combustible autre que la *taquia* (crottin sec de lama) serait trop onéreux.

Il y a bien une formation houillère dans le voisinage, à Copacabana; mais ce qu'on en sait jusqu'à présent n'autorise pas à la croire susceptible d'alimenter un établissement métallurgique de quelque importance.

Les méthodes employées sont des plus simples et fort imparfaites. Le minerai, amené sur le carreau de la mine (*saca*), est sommairement trié et brisé au marteau par des femmes (*carcadlo-*

(*) Lorenzo Sundt : Estudio geologico, etc. (*la Revista*, du 10 février 1892).

ras), puis porté dans des moulins à main (*quimbaletes*), ou à moteur hydraulique (*trapiches*) ; enfin on lui fait subir deux lavages dans des canaux inclinés, et on le sèche, soit au soleil, sur une aire construite en briques, soit sur des plaques de fer chauffées en dessous. On n'exporte guère, en somme, que du minerai (*barrilla*), et très peu de barres.

Voici le tableau de la production des quatre entreprises minières de Corocoro en 1897 :

	QUANTITÉS extraites	QUANTITÉS traitées	CUIVRE obtenu	COUT de l'exploitation	DROITS PAYÉS au fisc
	ton. mét.	ton. mét.	ton. mét.		
Compañia Corocoro (Cie chilienne).	52.129	51.512	1.504	Bs 496.120,27	Bs 16.343,75
Noël Berthin (Entrep. française).	15.422	15.422	512	190.340,46	5.135,50
J. K. Child and Co (Cie anglaise).	7.242	7.242	271	100.890,79	2.950
Carreras Hermanos.	7.601	7.208	503	»	5.469,25
	82.394	81.384	2.790	»	Bs 29.898,50

Le Gouvernement bolivien perçoit un droit de 50 centavos par quintal de minerai ; on a proposé récemment de porter cet impôt à 5 boliviens, ce qui rendrait inévitable la fermeture des mines ; mais il n'y a pas d'apparence que le Congrès de Sucre vote jamais une pareille loi.

D'après des renseignements fournis par M. Raphaël Berthin, administrateur de l'entreprise Noël Berthin, les prix afférents à l'exploitation du cuivre seraient les suivants :

	Par quintal de 46 kilogr.
Prix de revient des cuivres à Corocoro : Bs.	14,50 à 15
Frais jusqu'à Paris, Bs..................	5,75
Coût total du quintal espagnol (soit 46 k.) Bs	20,25 à 20,75
Net produit réalisable dans les conditions actuelles de vente et de change, Bs..................	22
Bénéfice net, Bs..........................	1,75 à 1,25

Un tel bénéfice, dans l'industrie si aléatoire des mines, laisse peu de place aux élévations d'impôt.

(*Extrait d'un* Rapport adressé à M. le Ministre des Affaires étrangères par M. DE COUTOULY, *chargé d'affaires de France à La Paz.*)

LÉGISLATION ÉTRANGÈRE.

ITALIE.

Loi du 2 *juillet* 1896 *sur l'expropriation en matière des mines et sur les Syndicats miniers.*

En rendant compte ici même (*Annales des Mines*, 1894, t. VI, p. 588) de la loi italienne du 30 mars 1893 sur la police des exploitations minérales, nous avons expliqué comment l'Italie, n'ayant pu réaliser l'unification de législation en ce qui concerne l'attribution du droit de rechercher et d'exploiter les substances minérales, s'était efforcée d'obtenir l'uniformité des règles sur leur exploitation, sans se préoccuper de savoir si la propriété de la mine est ou non séparée de la propriété du sol, sans tenir compte des distinctions légales entre mines, minières, carrières et tourbières. D'après ce principe avait été rendue cette loi du 30 mars 1893 relative à la police de toutes les exploitations minérales. Il est certain que, pour assurer la sécurité de ces exploitations, ces distinctions légales entre mines, minières et carrières ne peuvent jouer aucun rôle. Rationnellement les règles devraient être les mêmes pour des entreprises présentant des conditions techniques analogues. Un fait bien topique suffit pour montrer que l'on devrait, en pareille matière, faire abstraction de toutes distinctions relatives à la classification légale des substances minérales ; cette classification varie, en effet, entre les divers pays pour la même substance au point que les combustibles qui constituent, lorsqu'ils dégagent du grisou, les *mines* à coup sûr les plus sévèrement réglementées, ne sont que des *carrières* dans de nombreuses contrées.

L'Italie vient de faire un nouveau pas dans cette voie par sa

loi du 2 juillet 1896 dont la promulgation a donné une solution à des projets qui remontent à quelque trente ans. Cette loi de 1896 dérive directement, en effet, du projet présenté au Sénat, en 1868, par le ministre Broglio et repris, en 1871, par le ministre Castagnola (*).

La loi s'occupe, spécialement, dans les articles 2 à 13, des Syndicats libres ou obligatoires qui peuvent être constitués entre exploitants voisins de toutes substances minérales sans distinction entre elles. En outre, dans son article 1er, elle étend le principe de la déclaration d'utilité publique en faveur de certains travaux de tous ces exploitants, principe qui se trouvait déjà, mais en termes plus restreints, dans la loi du 30 mars 1893 (art. 13).

Aux termes de l'article 1er de la loi du 2 juillet 1896, le bénéfice de la déclaration d'utilité publique et, par suite, de l'expropriation par cette voie des terrains nécessaires à l'exécution des travaux pour lesquels cette déclaration a eu lieu peut s'appliquer, pour toutes les substances minérales sans distinction, la tourbe même comprise, aux travaux nécessaires pour défendre les exploitations contre les eaux, les en débarrasser, les ventiler, leur permettre de déposer les substances extraites, pour exécuter toutes voies de transport destinées à emmener les produits ou à amener les approvisionnements, pour établir enfin les appareils et les fours nécessaires à la préparation et à l'élaboration des produits extraits.

Il va de soi, encore que la loi ne l'ait dit nulle part explicitement, que le bénéfice de ces dispositions s'applique aux travaux des Syndicats dont nous allons parler comme à ceux des exploitants agissant individuellement.

Des Syndicats obligatoires entre exploitations contiguës ou voisines peuvent être constitués à la demande de la majorité des intéressés, par décision ministérielle, pour établir, entretenir et exploiter une installation commune pour l'épuisement des eaux, la ventilation, l'extraction des produits, la construction des routes, la sécurité et la salubrité des travaux (art. 2 et 3).

La décision ministérielle fixe les conditions de l'ouvrage, aux frais d'établissement ainsi que d'entretien ou d'exploitation duquel chacun des associés doit concourir à raison de son intérêt; la quote-part de chacun dans les dépenses d'entretien et d'exploitation devant être déterminée tous les deux ans d'après les résul-

---

(*) Voir sur ces projets notre *Traité de législation des Mines*, t. III, p. 373-374.

tats des deux années précédentes ; et la responsabilité de chacun restant limitée en proportion de sa quote-part (art. 2).

Tout membre de la minorité est admis à verser les sommes par lui dues en annuités calculées sur les bases de l'intérêt du Crédit Foncier à ce moment moyennant garanties hypothécaires sur l'exploitation (art. 4) ; il peut aussi demander, lors de la constitution du Syndicat, à être exproprié de son exploitation : de la mine entière, si elle a été instituée par concession ; de la partie (sol et sous-sol compris) intéressée par le projet dans les autres cas ; l'indemnité, qui peut être payée en 20 annuités calculées comme il vient d'être dit (art. 5), devant être établie sans tenir compte de la plus-value que l'exploitation pourra retirer des travaux du Syndicat ; il peut, enfin, à toute époque, se soustraire au paiement des cotisations par l'abandon de son exploitation (*id.*).

Le Syndicat qui sera dûment représenté par ses administrateurs est établi et fonctionne d'après des statuts arrêtés par le Ministre (art. 6 et 7).

Les Syndicats libres se forment à la seule volonté des parties par acte public (art. 2).

Un décret royal peut accorder aux Syndicats obligatoires ou libres la faculté de recouvrer les cotisations des associés comme en matière de contributions publiques (art. 10).

De notables réductions d'impôts sont accordées pour les actes à passer par les Syndicats (art. 11) et pour l'augmentation de revenu que les associés retireront des travaux (art. 12).

L. A.

L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE
DANS LA RÉGION DE SAINT-ÉTIENNE

Par M. L. BABU, Ingénieur au Corps des Mines,
Professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne.

INTRODUCTION.

Au commencement du XIXe siècle, les aciers fins utilisés en France venaient en majeure partie d'Angleterre; les aciers naturels, les aciers cémentés produits dans les forges de la Champagne, du Berry, de la Franche-Comté, de l'Ariège, ne pouvaient lutter ni avec les aciers anglais, ni avec les aciers allemands. On considérait comme une rareté les métaux d'excellente qualité pouvant prendre la trempe, et, tandis que le prix de la livre était en Angleterre seulement de 1 fr. 25, il atteignait en France, sous les guerres de l'Empire, 8, 10 et même 12 francs.

Saint-Étienne n'était pas alors un véritable centre métallurgique ; d'habiles forgerons transformaient bien en objets d'armurerie et de quincaillerie les fers du Berry et de la Champagne et les aciers étrangers importés à grand prix ; mais on ne produisait sur place ni fer ni acier. Les petites forges établies sur le Gier, sur le Furens et sur l'Ondaine, livraient depuis longtemps des clous, des chaînes, des limes, des canons de fusil, dont la renommée s'étendait au loin; mais rien ne faisait prévoir que l'industrie de la fabrication des fontes, des fers et des aciers pût s'implanter dans une région où l'on n'avait pas reconnu la présence des minerais de fer.

Ce n'est qu'en 1815 que s'établit à Saint-Étienne la fabrication des aciers au creuset, et c'est également à

partir de cette date, que se développent rapidement de nombreuses usines, où l'on s'efforce de produire les matières premières que réclament les industries de transformation. Comme Sheffield en Angleterre, Saint-Étienne est, en France, le premier centre de production des aciers fondus ; mais on ne se contente pas d'imiter les procédés anglais inventés, en 1740, par Benjamin Huntsmann, on produit bientôt des aciers fondus doux soudables, jusqu'alors inconnus en Angleterre.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler, à propos de l'industrie métallurgique de Saint-Étienne, l'invention du procédé de fabrication de l'acier fondu au creuset (*). Depuis plusieurs siècles, Sheffield était célèbre par ses objets d'acier, en particulier par les articles de coutellerie (*thwytels*). Tous les aciers étaient d'ailleurs également importés : ils venaient de Suède et d'Allemagne, en passant quelquefois par Newcastle-on-Tyne où se trouvaient plusieurs fours de cémentation. Quelles que fussent leur qualité, leur finesse, ces aciers naturels ou cémentés étaient peu homogènes, et, pour remédier à ce défaut qui le gênait dans la confection des ressorts, l'horloger Huntsmann eut l'idée de les rendre homogènes par fusion au creuset. Établi d'abord à Doncaster, à 8 miles de Sheffield, ensuite à Sheffield même en 1740, il acquit bientôt une grande célébrité. Les produits obtenus étaient des aciers durs, non soudables ; les analyses faites sur des échantillons obtenus à cette époque accusent une teneur en carbone de 1,4 p. 100 avec 0,17 p. 100 de silicium et 0,18 p. 100 de manganèse. Les teneurs en soufre et en phosphore sont respectivement 0,047 et 0,017 p. 100 (**).

(*) Gabriel JARS, *Voyages métallurgiques*, 1774 ; — LE PLAY, *Mémoire sur la fabrication de l'acier dans le Yorkshire* (*Ann. des Mines*, 1843) ; — LE PLAY, *Mémoire sur la fabrication et le commerce des fers à aciers dans le Nord de l'Europe* (*Ann. des Mines*, 1846).

(**) *Trans. of the American Institute of mining Engineers*, vol. XXIV.

C'est surtout de la découverte d'Huntsmann que date le renom des aciers anglais ; soixante-quinze ans plus tard, la France applique à son tour les mêmes procédés et peut bientôt, elle aussi, produire des aciers des meilleures marques.

A Saint-Étienne, la fabrication de l'acier au creuset est suivie de l'application des méthodes anglaises pour la production de la fonte et du fer. Là, comme en Angleterre, on dispose d'un combustible, le charbon de terre, dont l'application aux opérations métallurgiques donne les meilleurs résultats. Il suffit que l'impulsion soit donnée pour que les procédés de puddlage à la houille se développent rapidement; bientôt même on crée des hauts-fourneaux pour produire directement la fonte dont les usines d'affinage ont besoin. Les ingénieurs du Corps des mines, les professeurs de l'École des mines sont à la tête du mouvement, qui prend immédiatement une grande extension.

A l'époque actuelle, quelques hauts-fourneaux donnent encore dans la région de Saint-Étienne des résultats très satisfaisants ; mais la grande prospérité des usines de la Loire est surtout le fait de la perfection qu'elles apportent dans la fabrication des aciers fondus aux propriétés les plus diverses. Née de l'acier au creuset, l'industrie métallurgique de Saint-Étienne a toujours conservé quelque chose de son origine, et le soin qui préside à toutes les fabrications place à juste titre au premier rang les produits qu'elle livre à la Guerre, à la Marine et à toutes les industries.

Les aciers fins, les aciers pour fabrications difficiles, ont toujours été la grande spécialité de Saint-Étienne ; on ne s'est pas tant préoccupé de produire en grande quantité que de perfectionner les produits ; aussi les métallurgistes éminents qui se sont succédé dans la direction des usines sont-ils connus plutôt par les études remarquables qu'ils

ont faites, par les perfectionnements qu'ils ont apportés dans des procédés de fabrication, que par des découvertes permettant d'abaisser les prix de revient. On cherche à épurer le métal aussi bien que possible, à lui donner des propriétés qu'il n'a jamais jusqu'alors présentées; on le façonne par forgeage, plus tard par moulage, et les pièces qui sortent des ateliers présentent toujours le plus grand degré de perfection.

Dans l'étude des transformations successives qu'a subies l'industrie métallurgique dans la Loire, nous avons pensé qu'il y avait lieu de distinguer quatre périodes principales. Jusqu'au commencement de ce siècle, on ne trouve pas d'usines produisant le métal ou le dénaturant; les petites forges constituent seulement une industrie de transformation; à partir de 1815, la création des fonderies au creuset, celle des forges anglaises à la houille, enfin l'installation de hauts-fourneaux font presque immédiatement de la Loire un centre métallurgique important. Cependant les conditions économiques sont loin d'être excellentes; les transports des matières premières sont onéreux; les usines ne sont qu'à demi prospères.

Cette situation dure jusque vers 1840. A ce moment la construction de nouveaux chemins de fer vient améliorer la condition des transports et permet d'abaisser dans une large mesure le prix de revient des produits fabriqués. C'est alors que s'établissent dans la région des maîtres de forges qui s'attachent à perfectionner l'outillage mécanique jusque-là assez défectueux; ils installent des marteaux-pilons, des pièces de forge de dimensions jusque-là inconnues sortent de leurs ateliers; bientôt ils fabriquent un nouveau métal, l'acier puddlé, qui se prête particulièrement au travail mécanique. C'est là une période où se perfectionnent surtout les procédés de forgeage et de façonnage des métaux.

Plus tard, dès qu'elles connaissent les nouvelles mé-

thodes d'affinage pour métaux fondus, les usines de la Loire les appliquent avec succès; en France, les premiers convertisseurs Bessemer sont installés à Assailly, près de Rive-de-Gier, et c'est à Firminy que Martin fait la première fusion industrielle de l'acier sur sole. Sans doute la crise industrielle de 1880, coïncidant avec la mise en pratique de la déphosphoration par le procédé Thomas, est fortement ressentie dans toute la région: la fabrication des produits à bon marché émigre vers les districts métallurgiques riches en minerais phosphoreux, mais les fabrications spéciales restent à Saint-Étienne; elles s'y développent même tellement que les usines doivent créer de nouveaux ateliers pour satisfaire aux commandes. Une activité constamment croissante, et qui atteint maintenant une intensité extrêmement remarquable, caractérise ainsi la période actuelle commencée en 1880.

Telles sont les cinq périodes qui, dans la Loire, débutent ou finissent chacune sur une transformation très marquante de l'industrie métallurgique.

Première période : avant 1815, jusqu'à la création des aciéries au creuset;

Deuxième période : de 1815 à 1840, jusqu'à la mise en œuvre du marteau-pilon;

Troisième période : de 1840 à 1860, jusqu'à l'application du procédé Bessemer;

Quatrième période : de 1860 à 1880, jusqu'à la déphosphoration par le procédé Thomas;

Cinquième période : de 1880 jusqu'à l'époque actuelle.

I

LA MÉTALLURGIE AVANT 1815.

L'armurerie et la quincaillerie. — Guillaume Paradin, doyen de Beaujeu, voyageant, sous le règne de Fran-

çois Ier, dans la région de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, écrivait dans les *Annales du Lyonnais et du Beaujolais :* « A Saint-Genis-de-Terrenoire et à Saint-Chamond « sont des mines de bon charbon de terre ; sy sont aussi « à Rive-de-Gier, mais non en telle quantité. Est mer- « veille de voir les habitants de ce pays qui en sont tous « noircis et parfumés pour l'usage qu'ils en font pour leur « chauffage, au lieu de bois ; dont il n'y a maison, leur « manger, pain ni vin, qui n'en soit tout parfumé. Mais « le principal profict qui en vient est des forges, au moyen « de quoi est le Gier fort fréquenté de certaines races de « pauvres étrangers forgerons, lesquels ne demeurent « guère en un lieu, mais vont et viennent ainsi qu'oyseaux « passagers, même pour raison du voysinage de Saint- « Etienne de Furens en Forest. »

Cette description de la région minière il y a cinq cents ans, et qui s'applique encore assez bien à l'époque actuelle, montre que l'emploi et la transformation du fer remontent à plusieurs siècles dans la région de Saint-Étienne. Déjà, au XIVe siècle, les forges des vallées du Furens, du Gier, fabriquent des arbalètes, des épées, des hallebardes ; dès le XVe siècle on y commence la fabrication des armes à feu.

Les arbalestriers, forgerons, forgeurs de fers de lances, javellinaires, faiseurs de canons d'arquebuse, arquebusiers sont nombreux dans la région ; leur renommée s'étend au loin par les seigneurs qui viennent s'approvisionner chez eux des armes de toutes sortes dont ils ont besoin ; elle s'étend jusqu'à la cour de France, et, en 1516, François Ier envoie à Saint-Étienne un ingénieur languedocien, nommé Virgile, pour y étudier la fabrication d'armes destinées aux troupes royales.

Les guerres de religion ont pour effet d'augmenter la demande des armes ; les forgerons les livrent indifféremment aux catholiques et aux huguenots ; mais c'est seule-

ment sous le règne de Henri IV, qui ramène la sécurité en France, que la fabrication se développe réellement. Malgré l'épidémie qui dévaste Saint-Étienne de 1627 à 1630, malgré les impôts qui, sous Richelieu, écrasent les fabricants, les guerres favorisent l'armurerie : en 1669, à Saint-Étienne, il n'y a pas moins de 50 canonniers et de 600 armuriers. On travaille pour le service du roi; il y a un *Commissaire pour la fabrique des armes pour le service de Sa Majesté*, un *Directeur de la fabrique royale d'armes;* un commissaire de la Marine fait fabriquer des armes à feu pour le *Service des officiers de vaisseau de Sa Majesté.*

Ce n'est cependant qu'en 1716 que s'organise la fabrication régulière des armes de guerre. Le Grand-Maître de l'Artillerie envoie à Saint-Étienne une commission d'inspecteurs. On rend obligatoire l'épreuve des armes : il y a l'*épreuve royale* pour les armes de guerre, l'*épreuve bourgeoise* pour les armes destinées au commerce. De là l'origine du *banc d'épreuve* qui fonctionne maintenant à Saint-Étienne sous la direction de la Chambre de Commerce. On fournit des armes à l'Étranger, on les exporte; la C[ie] des Indes fait des commandes; on livre à l'Ordre de Malte 20.000 fusils et 1.400 paires de pistolets; on expédie 12.000 fusils en Espagne.

Mais les ministres du roi ne paient pas toujours très exactement, ce qui met les armuriers dans une situation souvent précaire. D'un autre côté, les armes de Charleville sont préférées à celles de Saint-Étienne, quelquefois fabriquées avec des fers de mauvaise qualité. On ne s'est pas suffisamment préoccupé jusqu'alors de la qualité des fers employés : on s'est contenté de les acheter chez les marchands de Lyon sans spécification d'origine; on commence à passer des marchés avec les forges de la Champagne, de l'Ardèche, des Pyrénées. Enfin, en 1764, les industriels se réunissent en une Société qui reçoit du roi

le privilège exclusif de la fabrication de toutes les armes commandées pour les armées françaises ou pour les armées étrangères, et le roi confère aux usines de l'Association le titre de *Manufacture Royale*. Le monopole ainsi constitué met à la disposition de la Manufacture Royale toutes les petites usines, molières et aiguiseries de Saint-Étienne et des environs. On fabrique alors pour la première fois des baïonnettes et des fourreaux, et la fourniture annuelle des fusils atteint le chiffre de 20.000.

Pendant la Révolution, la Manufacture Royale est plus ou moins désorganisée : en l'an IV, on fabrique seulem nt 5.000 fusils et 200 paires de pistolets; plus tard on active les fabrications et, en 1816, les livraisons s'élèvent à 58.000 fusils.

Les procédés de fabrication y sont restés d'ailleurs extrêmement primitifs ; ce n'est qu'en 1785 qu'on applique pour la première fois l'étirage des canons de fusil par le martinet, tel qu'il est déjà depuis longtemps pratiqué à Liège. Mais *les forges liégeoises*, comme on les appelle alors, simplifient le travail des canonniers, qui n'ont plus besoin d'une aussi grande habileté professionnelle pour confectionner des canons de fusil de bonne qualité ; de là, parmi les ouvriers de la corporation, un mécontentement qui se traduit, en 1789, par une émeute.

Les machines-outils sont à peu près inconnues: tout se fait à la forge, à l'étau et à la lime. Le tour à canons, le banc de forerie sont inventés en 1792; on considère alors comme une merveille une machine qui perce à la fois les onze trous du corps de platine. Tel est, avec une machine à tarauder et une autre à fileter les vis à bois, l'inventaire des machines-outils de la Manufacture Royale.

A côté de l'armurerie, la quincaillerie est également fort ancienne à Saint-Étienne. On trouve les traces d'une jurande, établie pour la coutellerie, au Chambon, près Saint-Étienne, en 1594, et transportée à Saint-Étienne

en 1607. Au siècle dernier, les principaux produits, outre la coutellerie sont : les fourchettes, les cuillers, les mouchettes, les serrures, les vis, les limes, les clous, les fiches et autres objets de ferronnerie pour bâtiments. La France n'est pas leur seul débouché : par Marseille ils se répandent dans le Levant et dans nos grandes colonies d'Amérique. Les forgeurs s'appellent des maréchaux ; répandus surtout dans les vallées du Furens, de l'Ondaine, du Gier, ils fabriquent non seulement les ferrures pour le bâtiment, ils s'occupent encore de poêlerie, de ferblanterie, de bourrellerie. Ils transportent à dos de mulets, à Saint-Étienne ou à Lyon, leurs articles qui sont ensuite expédiés par le Rhône dans tout le Midi de la France et par la Saône dans la Bourgogne et à Paris.

C'est entre Saint-Chamond et Saint-Étienne qu'on trouve le plus grand nombre de fabricants ; Saint-Martin-la-Plaine est le centre principal des articles de ferronnerie. A Firminy et à Saint-Chamond, l'industrie du clou forgé est importante. La coutellerie occupe 600 à 700 ouvriers qui livrent 12.000 douzaines de couteaux par semaine : ce sont seulement des couteaux ordinaires, le couteau de poche à manche de bois ou de corne qui se vend 1 fr. 50 la douzaine, l'*Eustache* qui, suivant la qualité, coûte seulement 5 à 16 francs la grosse de douze douzaines. L'industrie des fourchettes et cuillers présente une importance analogue : les mouchettes sont produites par 200 ouvriers, et, à Saint-Étienne seulement, la fabrication des vis occupe près de 1.200 personnes. La serrurerie se fabrique à Saint-Étienne et à Saint-Bonnet-le-Château ; le nombre des ouvriers serruriers s'élève à 1.300.

Là, comme en armurerie, tous les articles sont fabriqués à la main ; mais des usines mécaniques se sont établies dans les Vosges : elles produisent à bas prix et entravent la vente des produits de la Loire. Pour lutter contre cette concurrence, un industriel veut appliquer les

procédés anglais de fabrication; il organise à Saint-Étienne une usine mue par une roue hydraulique, mais de même que le forgeage des canons de fusil au martinet a amené une émeute en 1789, de même l'initiative prise par M. Sauvade ameute les ouvriers qui détruisent l'usine en 1791. Personne ne se hasarde plus à établir d'autres usines mécaniques, et, à partir de cette époque, l'industrie de la ferronnerie et de la quincaillerie décroît rapidement dans la région de Saint-Étienne; elle occupait 8.000 ouvriers vers 1790; elle n'en compte plus que 3.000 en 1810.

La quincaillerie et l'armurerie constituent des industries presque familiales; les ouvriers compagnons travaillent par petits groupes autour des maîtres; en moyenne il n'y a pas plus de 2 ouvriers pour un chef d'atelier.

L'importance comparée des fabrications à diverses époques est indiquée dans les tableaux ci-contre qui résument les recherches statistiques faites en 1812 par ordre du Gouvernement.

Valeurs en francs des matières premières employées annuellement dans les fabrications.

	ÉPOQUES		
	1786 à 1790	1800 à 1803	1810 à 1811
Fers en barres	800.000	460.000	324.000
Fers en paquets	102.000	60.000	37.000
Fers en verges	228.000	150.000	104.000
Aciers	272.000	190.000	129.000
Fils de fer	60.000	30.000	13.000
Cuivre et autres métaux	166.000	80.000	32.000
TOTAUX	1.628.000	970.000	632.000

Valeurs des produits et salaires des ouvriers.

ÉPOQUES	PRODUITS	
	Poids en kilogrammes	Valeur en francs
1786 à 1790	23.300	4.480.000
1800 à 1803	12.300	2.636.000
1810 à 1811	6.000	1.440.000

ÉPOQUES	NOMBRE DES OUVRIERS		
	Chefs d'atelier	Compagnons apprentis	Totaux
1786 à 1790	2.600	5.400	8.000
1800 à 1803	1.400	2.900	4.300
1810 à 1811	900	2.100	3.000

ÉPOQUES	SALAIRES EN FRANCS		
	Chefs d'atelier	Compagnons	Totaux
1786 à 1790	1.215.000	1.143.000	2.358.000
1800 à 1803	890.000	558.000	1.398.000
1810 à 1811	381.500	288.000	669.500

On fabrique déjà des outils de taillanderie, des chaînes, et la fabrication des clous forgés provoque la création d'usines dites *fenderies* qui reçoivent les fers *largets* de Champagne, de Franche-Comté, du Berry et même de l'Ariège, et les transforment en *verges*, qui sont ensuite remises à des forgerons travaillant à domicile.

Mais, dans une région où les minerais de fer riches manquent complètement, l'industrie métallurgique propre-

ment dite ne peut s'établir à des époques aussi anciennes. La fabrication de la fonte et du fer au charbon de bois est depuis longtemps développée en France, en Champagne, dans le Berry, en Franche-Comté, dans l'Ariège, et on ne trouve dans la Loire aucune trace de cette industrie. Il faut remonter jusqu'à l'introduction en France des procédés anglais à la houille pour que se créent dans la région de véritables usines métallurgiques; à l'inverse de ce qui a lieu dans la plupart des centres métallurgiques, l'industrie du fer ne débute pas par le traitement direct des minerais au bas-foyer; elle applique, dès son origine, les procédés déjà perfectionnés n'exigeant que l'emploi de la houille.

Aussitôt qu'elle est introduite dans la Loire, on comprend d'ailleurs que la métallurgie proprement dite puisse se développer si rapidement. Il y a là une population habile à manier le fer et admirablement préparée pour toutes les opérations que va exiger la fabrication du fer et de l'acier.

II

PÉRIODE DE 1815 A 1840.

James Jackson à Trablaine. — Depuis longtemps déjà les manufactures d'armes ont essayé d'employer exclusivement les aciers français dans leur fabrication; mais les produits qu'elles obtiennent sont irréguliers; il en résulte à l'encontre des forges françaises un certain discrédit qui fait préférer les aciers de Styrie, d'Angleterre, d'Allemagne. On reconnaît cependant, dès 1812, que l'acier brut français, en particulier celui qu'expédient les forges de l'Isère, celles du Nivernais et les bas-foyers des Pyrénées, ne le cède en rien à celui qu'on prépare dans les aciéries de Styrie et de Carinthie; il suffit d'un peu de soin

dans le triage des barres, jusque-là livrées sans classement préalable, pour que le forgeron puisse choisir avec certitude la qualité dont il a besoin, sans être exposé à rejeter inutilement un grand nombre de barres trop dures ou trop douces.

Malgré tout, on attribue aux aciers anglais une supériorité que les uns expliquent par une qualité spéciale, par une *propension aciéreuse* que posséderaient les minerais anglais, et que les autres considèrent simplement comme le résultat d'une fabrication plus soignée. Pour vérifier s'il en était ainsi, il suffisait d'appliquer en France les procédés anglais, et, mieux, de faire venir d'Angleterre des hommes rompus à la pratique des fabrications. C'est ce que fait le ministre Chaptal en 1814. Au nom du Gouvernement Français, il invite James Jackson, propriétaire à Birmingham d'une aciérie où l'on fait surtout des limes et de l'acier cémenté, à venir en France pour y importer la fabrication des aciers fins.

Jackson débarque le 25 octobre 1814 avec huit enfants ; il a alors quarante-deux ans. Après une étude assez sommaire des conditions économiques des divers centres métallurgiques, il propose d'établir à Saint-Étienne la fabrication des aciers fins suivant la méthode anglaise. La proximité de mines de houille déjà très développées et bien outillées, la facilité de recruter d'excellents forgerons sont des raisons suffisantes pour déterminer le choix de Jackson ; cependant, comme il s'agit de faire de l'acier fondu par le procédé d'Huntsmann, la ressemblance de Saint-Étienne avec Sheffield contribue sans doute, elle aussi, à faire désigner la Loire comme centre des nouvelles fabrications. Avec leurs nombreuses collines et leurs vallées où s'étagent les martinets, les molières et les aiguiseries et où fument une multitude de feux de forge, l'une et l'autre ville méritent cette définition que lord Palmerston donnait plus tard de Sheffield : *a black*

picture set in a golden frame. Enfin, si l'eau de Sheffield a pour la trempe des propriétés tellement spéciales que, vers la fin du XIX[e] siècle, des Américains n'hésiteront pas à en importer en Amérique même une grande quantité, l'eau de l'Ondaine, celle du Furens, celle du Gier jouissent de propriétés non moins excellentes et sont réputées valoir celle de la rivière Chalybs, en Espagne. On fait aussi, à Saint-Étienne des meules pour aiguiseries qui ne le cèdent en rien aux meules de Sheffield.

Tant de raisons, surtout à une époque où les procédés métallurgiques sont exclusivement empiriques, doivent indiquer Saint-Étienne comme le point le plus favorable à la fabrication des aciers fondus au creuset. Le 26 avril 1815, le ministre Chaptal promet alors à Jackson un logement gratuit dans le département de la Loire, et, pendant trois ans, une subvention de 20 francs par 100 kilogrammes d'acier équivalant aux meilleurs aciers anglais et produit avec des minerais français ; on doit, de plus, lui payer 1.000 francs par chaque ouvrier anglais qu'il amènera.

Le 2 août 1815, Jackson loue au prix de 900 francs par an la petite forge des Pêcheurs, située à Trablaine, commune de Feugerolles; puis il s'entend avec des commanditaires qui s'engagent à lui fournir le capital qui lui est nécessaire. On établit immédiatement un four de cémentation, ensuite un martinet et 20 fours de fusion ; on y adjoint une fabrique de creusets, un laminoir, une fabrique de limes. Dès l'année 1816, la production s'élève à 100 tonnes d'acier fondu et d'acier cémenté.

Le prix des aciers fondus est de 3 fr. 50 à 4 francs le kilogramme; celui des aciers cémentés de 1 fr. 50 à 2 francs. A ce moment il y a encore, en faveur des aciers anglais, un préjugé tel, qu'on est, en général, obligé de vendre les aciers français sous des marques anglaises, si l'on ne veut pas consentir à une moins-value de 20 à 25 p. 100.

En 1818, la production de l'usine de Trablaine atteint 200 tonnes. Les matières premières viennent de l'Ariège, des Pyrénées-Orientales, du Dauphiné; les fers de Sahorre, d'Escanié, de Puyvaladore, dans les Pyrénées-Orientales, sont employés concurremment avec ceux des forges de Poisat près de Grenoble. Les terres à creusets se trouvent à Salavas (Ardèche), à Bolène (Vaucluse); on emploie aussi la terre grasse de Sorgues. Les prix de vente des aciers ne sont pas extrêmement élevés, malgré le peu de temps écoulé depuis la création des usines; ils s'élèvent en 1818 à :

3 fr.	»	le kilo,	pour l'acier fondu ;
1	20	—	pour l'acier cémenté ;
1	»	—	pour l'acier non curé ;
2	»	—	pour l'acier corroyé ;
2	50	—	pour l'acier corroyé dur.

Dès l'origine, les produits obtenus par Jackson sont d'excellente qualité; cependant, obéissant certainement à l'ancien préjugé, le Comité consultatif des Arts et Manufactures juge que les aciers de Trablaine ne sont pas encore assez parfaits pour mériter la subvention promise par Chaptal. Malgré tout, la fabrication de l'acier fondu au creuset, en France, est maintenant un fait acquis; elle ne tarde pas à prendre dans la Loire un développement extrêmement rapide.

Beaunier à la Bérardière. — Le procédé de fusion au creuset dans des fours à vent, tel qu'on l'applique alors, est tellement simple que l'exemple donné par Jackson ne peut manquer d'être suivi. Presque aussitôt après la mise en marche de l'usine de Trablaine, en 1816, M. Milleret, receveur général des finances du département de la Moselle, sur les conseils de Beaunier, ingénieur en chef des Mines et directeur de l'École des

Mineurs de Saint-Étienne, entreprend la création d'une nouvelle aciérie à la Bérardière, sur le Furens, près Saint-Étienne. Son but est de fournir au commerce et surtout aux manufactures d'armes les diverses variétés d'acier qu'on est alors obligé d'importer des pays étrangers, en particulier les aciers naturels raffinés qui viennent d'Allemagne, et qui présentent sur les aciers cémentés des avantages spéciaux qu'on attribue à *une combinaison plus intime du carbone avec le fer*.

La nouvelle usine est établie sur les plans de Beaunier qui a, le premier, conseillé sa création. Avec l'autorisation du Directeur général des Mines, Beaunier dirige lui-même l'installation de toute la partie métallurgique de l'usine; bientôt après il en prend la direction. On fabrique là des aciers fondus, des aciers cémentés; on raffine les aciers bruts de l'Isère, du Nivernais, des Pyrénées.

Les produits les plus divers sortent de l'usine de la Bérardière: on y prépare le *ruban damassé* pour la confection des canons de fusils, l'*acier dur* pour revêtir les faces des batteries, un *acier soudable affiné* à 1.024 *doubles*, qui présente la dureté de l'acier fondu et qui se vend 400 francs en barres. L'*acier fondu* étiré en petites dimensions, à 260-280 francs, l'emporte sur l'acier anglais par sa propriété d'être soudable, propriété que ne possèdent pas les aciers de Marschal et de Huntsmann. On peut, en outre, livrer au commerce des *aciers raffinés* pour coutellerie à 180 francs les 100 kilos; on vend au même prix les aciers raffinés pour les grands outils tranchants, gouges, outils de tour, dont la qualité correspond à celle des aciers de Hongrie. L'acier pour limes, outils, coutellerie courante, coûte seulement 150 francs. Une des spécialités de l'usine est l'*acier étoffé* pour ressorts de voiture, au prix de 160 francs; en 1819, son excellente qualité est attestée dans un rapport de M. Chapuis, lieutenant-colonel d'artillerie, directeur général des ate-

liers de construction des Messageries royales à Paris : « Les quatre premiers ressorts, faits avec les échantillons « d'essais, ont été placés sur une voiture de la route « de Lyon qui a fait depuis cette époque un trajet « de 2.600 lieues, sans que, depuis huit mois, ils aient « éprouvé aucune avarie. » Jusqu'à cette époque on employait surtout l'acier cémenté laminé anglais pour les ressorts de malles-postes (*).

En 1819, les aciéries de la Bérardière sont outillées pour produire annuellement 240 tonnes d'*aciers naturels raffinés* et 30 tonnes d'*acier fondu soudable*. Cette dernière fabrication, encore inconnue en Angleterre, prouve que le procédé d'Huntsmann a déjà été beaucoup perfectionné depuis son introduction en France; la fusion des aciers naturels, d'où résultent ces aciers fondus, est certainement plus délicate que celle des aciers cémentés durs que les fondeurs anglais ont jusqu'alors exclusivement pratiquée.

De Gallois. — Forges à l'anglaise et hauts-fourneaux au coke. — Le rôle du Service des Mines et de l'École des Mines de Saint-Étienne dans le développement de l'industrie métallurgique de la Loire semble avoir été, à l'origine, tout à fait prépondérant. Pendant que Beaunier dirige les aciéries de la Bérardière, de Gallois, ingénieur en chef des Mines et professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne, fait un long séjour en Angleterre pour étudier les méthodes de fabrication du fer et de l'acier qui n'exigent que l'emploi de la houille. Depuis longtemps déjà le puddlage par le procédé de Cort est appliqué dans les forges anglaises, mais c'est seulement à l'époque du voyage de de Gallois que se répand le puddlage sur sole en fonte

(*) *Rapport fait au Conseil général des Mines, le* 11 *mai* 1819, par M. Gillet de Laumont, inspecteur général au Corps royal des Mines.

que Baldwin Rogers vient de réaliser dans le comté de Clamorgan.

De retour en France, de Gallois a pour premier souci de faire appliquer dans le bassin houiller de Saint-Étienne les méthodes nouvelles qui donnent de si bons résultats en Angleterre. Ce sont là cependant des méthodes encore un peu frustes, qui manquent de mise au point; déjà quelques usines du Nord-Est les ont introduites en France, et, par suite du haut prix du combustible, ont apporté de notables perfectionnements dans la méthode de travail. Le puddlage par la *méthode champenoise* devient rapidement, au point de vue économique, bien supérieur au procédé anglais proprement dit. C'est en mettant à profit tous les perfectionnements apportés à l'idée première de Cort que de Gallois fait construire, en 1830, la forge de Saint-Julien, près Saint-Chamond, la première forge à l'anglaise établie dans la Loire (*).

De Gallois ne se borne pas à engager les industriels dans des installations d'usines d'affinage, il veut créer, dans la région, des hauts-fourneaux qui puissent produire les fontes nécessaires à les alimenter. Le premier, il se rend compte de la connexion qui doit exister entre les usines de la Loire et celles de l'Ardèche. D'un côté des minerais de fer, de l'autre le combustible nécessaire au traitement sont à proximité d'une voie navigable; le besoin d'échange doit mettre en relation ces deux régions. Sur ses conseils, un premier haut-fourneau a déjà été élevé à Vienne en 1818. Il est naturel que les usines de fusion soient établies sur le Rhône; à Saint-Étienne, la castine manque, et la montée du Rhône, que doivent effectuer les minerais de l'Ardèche avant un long parcours par terre, rend les transports de minerai à Saint-Étienne onéreux et incertains.

(*) Alphonse PEYRET, *Statistique industrielle de la Loire*, 1835.

On entrevoit alors la possibilité de créer, à Saint-Étienne même, des exploitations de minerai de fer. Dès 1817, de Gallois a constaté dans le bassin houiller l'existence de fer carbonaté lithoïde; il croit à la présence de gîtes importants, et, à son retour d'Angleterre, il s'empresse de provoquer l'installation de hauts-fourneaux au coke. C'est alors que s'installe la forge de Saint-Julien et qu'une Société anonyme dite *Société des Mines de fer de Saint-Étienne*, au capital de 500.000 francs, projette de monter trois hauts-fourneaux pour la fabrication de la fonte et une forge à l'anglaise pour la fabrication du fer.

Le premier haut-fourneau est commencé à Janon, tout près de Terrenoire, en 1821, et mis en feu le 29 octobre 1822; il est alimenté au coke, à l'exclusion complète du charbon de bois. Depuis quarante ans déjà, William Wilkinson a installé au Creusot le premier haut-fourneau au coke qui ait fonctionné en France (1782); mais cet exemple n'a pas été suivi, et le haut-fourneau de Janon est le second fourneau, en France, où l'on tente l'application de la houille carbonisée. Au point de vue technique, les résultats sont très satisfaisants, et, deux ans après, on installe le second fourneau projeté. Mais le capital dont on dispose a été complètement absorbé par cette nouvelle installation, et la Société des Mines de Saint-Étienne doit, pour cette raison, renoncer à la fabrication du fer qu'on estime cependant devoir donner d'excellents résultats.

La coexistence de la houille et du minerai de fer des houillères dans le bassin de la Loire n'est alors nullement mise en doute, et l'on fonde les plus grandes espérances sur la richesse des minerais récemment découverts. C'est ainsi qu'en 1826 il n'y a pas moins de treize hauts-fourneaux en projet:

LOCALITÉS	NOMS DES SOCIÉTÉS	NOMBRE DES hauts-fourneaux projetés
Saint-Julien....	Ardillon et Bessy..........	2
Janon..........	Cie des Mines de fer de Saint-Étienne.................	1
Chavanay	Cie Ain et Loire............	1
Givors	—	1
Rive-de-Gier....	Cie Fleur de Lys, Donzel, Neyrand et Fournas......	3
Lorette	Neyrand frères.............	2
Côte-Thiollière.	Cie Loire et Isère...........	3

A ce moment, les houillères de la Loire sont en pleine activité: en 1825, sur une production totale, en France, de 1.172.000 tonnes, elles fournissent à elles seules plus de 550.000 tonnes.

Depuis la mise en marche des fourneaux du Janon, l'on traite les minerais houillers de Saint-Étienne, entre autres les minerais grillés du treuil, et ceux du Soleil, très bitumineux, qui se trouvent en rognons très aplatis quelquefois au milieu même de la houille. Quant aux minerais du Cros, trop phosphoreux, ils sont le plus souvent inutilisables; la teneur des fontes produites atteint en phosphore jusqu'à 7,3 p. 100.

En 1826, on commence à exploiter les minerais de Latour-en-Jarez, minerais hydratés à 33 p. 100 de fer; mais tous ces gîtes sont discontinus, peu importants, et, pour l'alimentation des deux hauts-fourneaux en activité, il faut déjà avoir recours à des minerais étrangers. On fait venir des hématites de la Voulte, des minerais hydratés rouges oolithiques de Villebois, à 30-35 p. 100 de fer; on importe les minerais pisolithiques de la Haute-Saône et de Saône-et-Loire (Autrey, Tournus, Mâcon, Gray), à teneur de 30 p. 100 après lavage. Seuls les minerais de la Voulte sont riches, tous les autres sont pauvres; il faut les amener à grands frais et en partie par de mauvaises routes de terre. Il en résulte que leur

traitement dans la Loire est loin d'être rémunérateur. C'est ainsi qu'en huit ans, de 1822 à 1830, les hauts-fourneaux du Janon conduisent la *Société des Mines de Saint-Étienne* à la liquidation ; le déficit atteint environ 2 millions.

Crise de 1825 à 1830. — Les usines d'affinage se ressentent, elles aussi, de l'absence du minerai sur place : la fonte vient de la Côte-d'Or, du Doubs ; elle coûte cher, et c'est à peine si le bas prix du combustible permet de lutter avec les forges mieux situées pour l'approvisionnement des matières premières, et les fers anglais peuvent même s'introduire presque dans le Centre de la France. Le haut prix des transports entre le Rhône et Saint-Étienne, à une époque où le chemin de fer n'est pas établi, se joignant à toutes les difficultés que rencontre une industrie naissante, met la fabrication du fer, dans le bassin de la Loire, dans un état de crise qui ne semble avoir d'autre issue que la ruine complète des établissements. Sans la protection donnée aux fers indigènes par la loi de douane de 1822, qui impose aux fers en barres un droit de douane de 27 fr. 50 par quintal, c'en était peut-être fait de l'industrie du fer dans le département de la Loire, après dix années de tentatives infructueuses.

Pour pouvoir soutenir la lutte, les maitres de forges perfectionnent les procédés métallurgiques. Autrefois, le coke se fabriquait à l'air, en tas, avec le gros charbon ; dès l'année 1823, on commence à carboniser en plein air la houille menue, et, un peu plus tard, on remplace avec avantage ce mode encore onéreux par la carbonisation dans des fours à boulanger. On parvient ainsi à réduire de moitié le prix de revient du coke, qui, dans les années postérieures à 1830, n'est plus que de 10 francs par tonne (*).

(*) *Compte Rendu des travaux des ingénieurs des mines en* 1836.

D'énormes réductions ont lieu également dans les frais de main-d'œuvre ; des perfectionnements dans l'outillage permettent d'abord de fabriquer, avec la même main-d'œuvre, une quantité plus grande de produits, ensuite le prix de la main-d'œuvre diminue considérablement. Lors de la création des usines, on n'y employait que des ouvriers anglais travaillant huit heures par jour, et dont le salaire était fort élevé ; plus tard, on confie toute la fabrication à des ouvriers indigènes travaillant douze heures par jour, avec un salaire beaucoup moindre.

La crise dont souffre l'industrie des hauts-fourneaux à Saint-Étienne est d'ailleurs purement locale et n'atteint nullement les autres usines françaises. Au contraire, au point de vue commercial, les débouchés se multiplient par suite du développement des industries qui exigent beaucoup de fer ; la Marine met en service des câbles en fer, elle remplace les caisses à eau en bois par des caisses en tôle ; on commence même à construire des bateaux tout en fer. On prévoit que les canalisations des usines à gaz et surtout *les nouveaux moyens de roulage à larges bandes de fer* et les chemins en fonte de fer vont exiger des quantités de métal que les anciennes usines seront impuissantes à produire.

La loi de douane de 1822 contribue beaucoup au maintien des prix, qui sont alors beaucoup plus élevés en France que dans les pays voisins. Les fers, qui coûtent en Angleterre 250 francs la tonne et 350 francs dans les forges du Rhin, se vendent couramment en France 550 francs en 1824 ; leur prix atteint 700 francs en 1826. Un renchérissement semblable se manifeste d'ailleurs aussi sur les fontes, dont le prix de vente s'élève à 200 francs en 1824, à 240 francs en 1825 et à 300 francs en janvier 1826.

Au milieu de tels éléments de prospérité, les conditions difficiles dans lesquelles les hauts-fourneaux de la Loire

s'alimentent en minerai sont insuffisantes pour expliquer les pertes désastreuses qui amènent la ruine de la Société des Mines de fer de Saint-Étienne. Sans doute, dans les premières années, le prix de revient de la fonte, qui s'élève à 250 francs, est beaucoup plus élevé que celui prévu par de Gallois, mais toutes les dépenses sont loin d'être justifiées, et l'on supporte les conséquences de marchés de minerais passés à des prix beaucoup trop onéreux. La cause de la crise résulte surtout d'une gestion imprudente de l'affaire et des pertes réalisées dans l'exploitation des mines de houille. On s'en aperçoit après 1829, lorsqu'une direction plus sage apporte dans la conduite des hauts-fourneaux des économies telles qu'on peut faire des bénéfices, malgré la baisse des prix qui se manifeste alors sur la fonte.

Le chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne. — Les hauts-fourneaux après 1830. — Le chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne vient également fort à propos modifier heureusement les conditions économiques des usines de la Loire. Déjà, avant 1820, dans ses voyages en Angleterre, de Gallois a étudié les transports sur chemin de roulement en fer; il entraine les industriels dans un grand mouvement pour la création de voies ferrées analogues, destinées à assurer les communications de Saint-Étienne avec la Loire et avec le Rhône. C'est en s'appuyant sur le groupe financier qui a déjà fourni les capitaux nécessaires à l'installation des aciéries de la Bérardière, que Beaunier construit la première ligne de chemin de fer en France, celle de Saint-Étienne à Andrézieux, sur la Loire, qui, après avoir été concédée en 1823, est inaugurée en 1828.

Les rails sont en fonte; ils pèsent $20^{kg},500$ au mètre courant; ils sont portés par des coussinets en fonte de 3 kilogrammes, espacés de $1^{m},13$ d'axe en axe et fixés sur des dés en pierre. Plus tard, en 1837, on leur subs-

titue des rails en fer laminé, de 18 kilogrammes, établis sur traverses en bois.

Malgré les difficultés que doit rencontrer son exécution, la ligne de Lyon à Saint-Étienne préoccupe tous les industriels de la région; elle est concédée en 1825, et construite de 1826 à 1833, à peu près avec le tracé actuel. Les rails sont en fer laminé de 13 kilogrammes, portés par des coussinets en fonte montés sur dés en pierre; on les remplace successivement par des rails à section rectangulaire d'abord de 26 kilogrammes, ensuite de 30 kilogrammes, mais ce n'est qu'en 1841 qu'on adopte le rail à double champignon de 30 kilogrammes, de 4^{m},60 de longueur, reposant sur des traverses en bois.

A l'origine, les trains descendent seuls de Saint-Étienne à Rive-de-Gier; chaque voiture a son frein, et on pousse à l'épaule pour le démarrage. Partout ailleurs la traction se fait par chevaux. Déjà, en 1829, Marc Séguin, devançant Stephenson, a l'idée d'appliquer la chaudière tubulaire à tubes de fumée à la production de la vapeur sur les locomotives, mais c'est seulement dix ans plus tard que Claude Verpilleux réalise la traction mécanique de Rive-de-Gier à Saint-Étienne à l'aide de locomotives-tenders de son invention.

Voilà donc, peu après 1830, la région de Saint-Étienne réunie au Rhône par une voie ferrée. Le transport des fers coûtait auparavant par terre, en moyenne, 15 francs par tonne pour 10 lieues de France; le cahier des charges de la concession du chemin de fer stipule que le tarif à percevoir ne devra pas dépasser 0 fr. 12 par tonne kilométrique de Givors à Rive-de-Gier, et 0 fr. 13 de Rive-de-Gier à Saint-Étienne. L'ouverture de la nouvelle ligne, venant ainsi presque immédiatement après la découverte de l'emploi de l'air chaud dans les hauts-fourneaux, ouvre aux usines de la Loire, et en même temps à celles de l'Isère et de l'Ardèche, une ère toute nouvelle.

En ce qui concerne la fabrication de la fonte, le chemin de fer, remplaçant les transports si dispendieux effectués jusque-là par de mauvaises routes de terre, produit une économie de 25 p. 100 sur les transports du minerai et de la castine. L'emploi de l'air chaud réduit notablement la consommation de combustible et augmente la production journalière; de nouvelles économies résultent encore de l'emploi partiel des scories de forges. Les hauts-fourneaux de la Loire sont les premiers, — après le haut-fourneau de Rioupéroux, dans l'Isère, — sur lesquels on tente, en France, l'application de l'air chaud. Vers 1830, un *calorifère* est établi au Janon; peu de temps après, on applique à son chauffage les gaz du gueulard. Il en résulte un abaissement de la consommation du coke de 2.500 à 1.500 kilogrammes par tonne de fonte; en même temps, l'addition de castine est réduite de 1.200 à 600 kilogrammes. L'économie ainsi réalisée est supérieure à 12 francs par tonne de fonte.

Les conditions économiques de la fabrication de la fonte, ainsi améliorées, sont alors considérées comme extrêmement favorables, et cela d'autant plus, qu'on a encore confiance dans l'avenir des minerais de fer de la région. Dans la *Statistique industrielle* de 1835, Alphonse Peyret s'exprime dans les termes suivants: « Nous avons « sur les lieux les meilleures houilles qui soient en « France et des minerais de fer de bonne qualité; à la vé- « rité, nous sommes obligés de tirer du dehors une partie « des minerais et la castine; mais, par suite de l'améliora- « tion des communications, la dépense du transport n'entre « pas pour plus de 30 francs par tonne de fonte dans la « valeur de toutes les matières consommées, et, quant « à la réduction de la fonte en fer, l'excellence et le bas « prix de notre combustible, ainsi que de la main-d'œuvre, « nous placent, sous ce rapport, dans les circonstances « les plus favorables qu'il soit possible de trouver. »

Toutes les économies obtenues sur la fabrication de la fonte d'affinage, c'est-à-dire sur la matière première de la fabrication du fer en barres, se reportent naturellement sur la fabrication de ce dernier produit, dont le prix de revient peut être abaissé à 35 p. 100 au-dessous du prix de revient primitif.

De ces améliorations il résulte que les forges de la Loire, dont l'existence aurait été impossible en 1830 sans la protection du droit de 27 fr. 50 par quintal de fer en barres, peuvent vendre, en 1837, avec des bénéfices satisfaisants, leurs produits à un prix bien inférieur à leur prix de revient primitif. Elles sont donc peu touchées par la réduction du droit d'importation qui, en 1836, est abaissé à 5 fr. 50.

Les prix de revient de 100 francs pour la tonne de fonte, et de 210 francs pour le fer en barres, sont alors normalement atteints, et, en 1834, les éléments du prix de revient de la fonte aux hauts-fourneaux du Janon sont estimés comme suit :

Minerais. — 1.000 kil. de minerai de la Voulte à 50 p. 100, à 25 francs....	25 »	
— 1.500 kil. de scories de forges, de minerais hydratés de Latour ou de minerai houiller de richesse moyenne 33 p. 100, à 15 francs	22 50	
Total des minerais...............		47 50
Coke. — 1.500 kil., à 10 francs la tonne......		15 »
Castine de Villebois.--600 kil., à 12 fr. 50 la tonne.		7 50
Houille menue pour la soufflerie et le calorifère, 500 kil., à 5 francs la tonne...............		2 50
Main-d'œuvre		10 »
Total des frais spéciaux..........		82 50

Il convient d'y ajouter les frais d'administration, de 10.000 francs par an pour deux hauts-fourneaux produisant annuellement 4.000 tonnes de fonte, l'entretien de

l'usine, son amortissement, et enfin l'intérêt du fonds de roulement. Le total, évalué à 18 francs, porte à 100 francs le prix de revient de la tonne de fonte.

Malgré l'exemple peu encourageant à l'origine des hauts-fourneaux du Janon, MM. Ardaillon et Bessy mettent en feu, en 1827, deux hauts-fourneaux à l'Horme, pour alimenter en fonte leurs forges de Saint-Julien. Il semble cependant que tous les autres projets de créations d'usines aient été abandonnés, car, en 1831, Gervoy, ingénieur des Mines, signale seulement l'existence de quatre hauts-fourneaux, deux au Janon et deux à l'Horme.

L'acier au creuset. — Dans la fabrication de l'acier au creuset, l'initiative prise par Jackson à Trablaine, par Beaunier et Milleret à la Bérardière, est suivie de résultats plus immédiats et beaucoup plus heureux. Expulsé de Trablaine par ses bailleurs de fonds, Jackson organise, en 1819, une usine de fusion de l'acier à Monthieu, à 2 kilomètres seulement de Saint-Étienne ; en même temps il crée une forge sur le Furens. Peu après, reconnaissant que l'emplacement de Monthieu est mal choisi, il s'installe, en 1820, au Soleil, dans un faubourg de Saint-Étienne, et crée, de toutes pièces, une aciérie qui comprend quinze fours de fusion pour l'acier, une fabrique de creusets, un four à cémenter, une fabrique de limes, deux fours à coke. Ce n'est d'ailleurs qu'en 1822 que le Gouvernement accorde, pour trois ans, la subvention de 20 francs par 100 kilogrammes que Chaptal avait promise ; il a fallu sept ans pour qu'on se décide à reconnaître que les aciers fabriqués par Jackson sont de qualité égale aux aciers anglais.

L'usine du Soleil devient bientôt insuffisante, et les fils de James Jackson, continuant l'œuvre de leur père qui vient de se retirer en Angleterre, installent en 1825 les aciéries d'Assailly, sur le Gier, à Lorette, près de Rive-

de-Gier, où ils montent immédiatement la fabrication des aciers au creuset. L'usine possède bientôt un four de cémentation de 40 tonnes, douze fours doubles de fusion, sept marteaux actionnés par le Gier. En 1834, on y établit une machine à vapeur de 36 chevaux pour actionner des laminoirs et trois nouveaux marteaux, et, la même année, MM. Jackson frères présentent à l'Exposition un lingot d'acier fondu de 423 kilogrammes, énorme pour l'époque.

Par suite des efforts de Jackson et de Beaunier, les prix des aciers fondus, de 350 à 400 francs les 100 kilogrammes en 1817, ont pu s'abaisser beaucoup, tout en permettant encore aux usines de réaliser de notables bénéfices. En 1835, l'acier fondu en barres ne se vend plus que 220 à 260 francs, suivant qualité ; les tôles d'acier fondu coûtent 270 francs. Les aciers cémentés se trouvent dans le commerce à raison de 100 francs lorsqu'ils proviennent de fers à la catalane, à raison de 140 francs s'ils sont fabriqués avec des fers de Rive ; on les majore de 20 francs pour les barres de petites dimensions.

Pendant ce temps, les aciéries de la Bérardière continuent à se développer. La production de l'acier fondu est chez elles relativement peu importante ; elles ont surtout en vue la fabrication des aciers raffinés corroyés dont elles produisent par an jusqu'à 250 tonnes. En 1836, elles sont louées par les frères Jackson, qui deviennent ainsi les plus gros producteurs d'aciers fins en France.

Pour les mêmes fabrications, une nouvelle usine vient cependant de s'installer, qui va rapidement prendre une très grande importance : c'est en 1829 que Jacob Holtzer fonde à Unieux, auprès de Firminy, sur l'Ondaine, les aciéries qui portent son nom. On ne s'y occupe d'abord que de la fabrication des aciers corroyés obtenus par soudage de paquets formés de lames en acier naturel

ou en acier de cémentation; dès l'origine, on trie et on classe avec le plus grand soin, suivant leur dureté et leur qualité, les barres destinées à la confection des paquets, et les produits obtenus à Unieux peuvent bientôt rivaliser avec ceux de la Bérardière. En 1840 seulement, les usines Jacob Holtzer entreprennent la fabrication des aciers fondus au creuset, qui a pour conséquence l'installation de fours à cémenter; on emploie exclusivement des fers de Suède, qui constituent alors la meilleure matière première pour la fabrication des aciers fondus de première qualité.

Les forges à l'anglaise. — En même temps que Jackson s'applique surtout à développer l'industrie de l'acier au creuset, de nombreuses forges à l'anglaise s'installent dans la région. Deux ans après que Bessy a monté la forge de Saint-Julien, la *Compagnie anonyme des Fonderies et Forges de la Loire et de l'Isère* crée, en 1822, l'usine de Terrenoire, qui est mise en marche en 1823. Dès l'origine, elle est la plus grande forge de la région: elle ne comprend pas moins de quatorze fours à puddler et de deux feux d'affinerie; le travail mécanique des loupes et l'étirage des fers marchands sont obtenus à l'aide d'un gros marteau, d'un laminoir dégrossisseur et de douze jeux de laminoirs. La production annuelle peut y atteindre 10.000 tonnes, et la force motrice est fournie par trois machines à vapeur d'une puissance totale de 131 chevaux.

La *Société de la Loire et de l'Isère* est alors une des plus grosses affaires métallurgiques en France. Outre l'usine de Terrenoire, elle possède le haut-fourneau de Vienne, dans l'Isère, qui marche en fonte de moulage, et, dès 1826, elle commence à la Voulte la construction de quatre hauts-fourneaux. C'est là une création nécessaire, car les fontes, obtenues à Terrenoire avec les minerais

houillers du bassin de Saint-Étienne de qualité très inférieure mélangés avec les minerais calcaires pauvres du département de l'Isère, ne donnent au puddlage que des fers de très médiocre qualité. C'est seulement lorsque la fabrication de la fonte est installée à l'usine de la Voulte qu'on peut arriver à produire des fers de qualité convenable, qu'on désigne alors dans le commerce sous le nom de fers de la Voulte.

En 1835, on établit comme suit le prix de revient du fer puddlé à l'usine de Terrenoire pour une production de 8.000 tonnes :

	Francs.
Fonte, 1.400 kil. à 100 francs	140
Houille, 3.500 kil. à 6 francs	18
Main-d'œuvre	35
Administration, 20.000 francs	2,50
Réparations et amortissement, 40.000 francs	5
Intérêt du capital engagé (immobilisation, 400.000 francs; roulement, 1.200.000 francs)	10
Prix de revient total	210,50

Après Terrenoire, la forge à l'anglaise la plus importante est celle créée à Lorette, en 1824, par MM. Neyrand frères et Thiollière. Elle est munie de dix fours à puddler et de deux feux de finerie. Quatre laminoirs à barreaux et trois laminoirs à petits fers complètent son outillage. A peu près à la même époque, quatre autres ateliers de puddlage sont installés à Izieux, sur le Gier, mais chacun d'eux ne possède que un ou deux fours à puddler.

Résultats généraux de la période de 1815 à 1840. — La métallurgie à la houille prend donc très rapidement, dans la région, un grand développement. Grâce à l'esprit d'initiative, à l'énergie et à la persévérance des promoteurs des nouveaux procédés, Jackson, Milleret, Beaunier,

de Galloy, Bessy, le département de la Loire possède en 1830 :

— Les deux usines à fonte du Janon et de Givors, avec quatre hauts-fourneaux ;
— Les trois grandes forges de Terrenoire, de Saint-Julien, de Lorette, et les petites forges d'Izieux, avec trente-huit fours à puddler et quatre feux de finerie ;
— Les trois aciéries de la Bérardière, de Trablaine et d'Assailly, avec six fours à cémenter et soixante-deux fours de fusion de l'acier ;
— Les fenderies de la Chapelle, de Lorette, de Saint-Julien, de la Bargette, avec huit feux de fenderie, sept machines à fendre et autant de spatards.

Si l'on se reporte aux statistiques du Service des Mines, on constate qu'en 1835 les quatre hauts-fourneaux en feu dans la Loire produisent 8.200 tonnes de fonte ; le prix moyen de vente est de 134 francs la tonne. A la même époque, la production de la fonte au coke en France est seulement de 47.000 tonnes.

Sept feux de mazerie, dont quatre en activité, produisent près de 15.000 tonnes de « fine metal » au prix moyen de 174 francs. Sur une production totale en France de 41.000 tonnes de fer puddlé, la Loire intervient pour 19.000 tonnes. Le prix moyen du fer puddlé est alors de 253 francs la tonne sur place.

Dans la production des aciers fondus, la Loire tient le premier rang. En dehors de la région, on ne signale que quelques rares fours à creusets, entre autres dans le Tarn. Dans la Loire, la production est voisine de 300 tonnes, et le prix moyen de l'acier fondu est de 1 fr. 70 le kilogramme. Les frères Jackson ont presque le monopole de cette industrie depuis qu'ils ont loué l'usine de la Bérardière.

Leur ancienne usine de Trablaine, qui est alors aux mains de M. Bouvier, n'a plus qu'une faible production. En 1838, la production totale des aciéries Jackson, Assailly et la Bérardière, est de 900 tonnes, comprenant:

Acier à ressorts	500 tonnes
Acier fondu	300 —
Acier cémenté	100 —

A la même époque, les autres aciéries en activité dans la Loire produisent :

Jacob Holtzer, à Unieux.........	100 tonnes
Holtzer aîné et fils, à Cotatay.....	20 —
Debrye et Dumaine, à Saint-Étienne.	120 —
Bouvier, à Trablaine.............	60 —
Plate et Rozet, à Saint-Etienne...	50 —

Si l'on évalue à 7 fr. 50 par tonne de fonte et à 10 francs par tonne de fer l'intérêt des capitaux engagés dans l'industrie métallurgique, les conditions économiques de la fabrication de la fonte et du fer dans la Loire peuvent être résumées comme suit (par tonne) :

ANNÉES	FONTE		FER	
	Prix de revient	Prix de vente	Prix de revient	Prix de vente
1823	250	190	440	440
1824	230	170	430	435
1826	200	250	380	550
1828	180	180	320	420
1830	130	150	270	350
1832	110	140	230	280
1834	100	150	210	300

III

PÉRIODE DE 1840 à 1860.

Pétin et Gaudet. — Le marteau-pilon. — Par suite de l'augmentation constante des demandes, par suite aussi de l'abaissement des prix de revient, les usines de la Loire sont toutes très prospères en 1840. On a renoncé, il est vrai, aux espérances que, quelques années auparavant, on avait fondées sur le traitement aux hauts-fourneaux des minerais houillers; les usines de dénaturation ne craignent plus cependant de manquer de la fonte qui leur est nécessaire et qu'elles peuvent faire venir à bas prix de l'Ardèche ou du Berry.

C'est dans ces conditions que s'installe à Rive-de-Gier, en 1837, une petite forge qui sera le point de départ de l'une des usines métallurgiques actuellement le plus puissamment outillées en France. Hippolyte Pétin et son ami Gaudet sont les créateurs de la nouvelle forge. Né en 1813, et sorti de l'École d'Arts et Métiers de Châlons en 1831, Hippolyte Pétin fait la connaissance de J. Gaudet, ouvrier forgeron, dans un atelier de construction de Lyon, où tous les deux sont employés. Un peu plus tard il travaille comme dessinateur dans les ateliers de Verpilleux, à Rive-de-Gier; puis il s'associe avec Gaudet pour créer à Rive-de-Gier un petit atelier de puddlage, qu'ils établissent avec quelques centaines de francs qu'ils ont économisés.

Achetés sur les bénéfices réalisés, quelques nouveaux outils viennent augmenter l'importance de la forge encore très modeste, et, dès 1840, Pétin se rend au Creusot pour étudier le fonctionnement du marteau-pilon à vapeur qui vient d'être construit par Bourdon, ingénieur des aciéries du Creusot. On a quelquefois attribué à Nasmyth

l'invention du marteau-pilon; en réalité, l'idée d'appliquer directement la vapeur au forgeage hantait certainement tous les métallurgistes de cette époque. Watt lui-même avait tenté en vain de la réaliser; mais c'est Bourdon qui, le premier, établit le marteau-pilon à peu près tel que nous le connaissons actuellement. Ce n'est qu'un peu plus tard, à la suite d'un voyage au Creusot où il peut examiner les plans de Bourdon, que Nasmyth construit à son tour en Angleterre un marteau-pilon qui est l'imitation de celui déjà établi au Creusot (*).

Dès qu'il s'est rendu compte de tout le parti qu'on peut tirer de ce puissant outil, Pétin en fait l'acquisition, et, en 1841, un pilon à vapeur fonctionne dans l'usine de Rive-de-Gier et est mis en œuvre avec une habileté remarquable. C'est là le point de départ de la fortune de Pétin et de Gaudet, qui sont les premiers initiateurs de l'emploi du marteau-pilon en France.

Sous la direction de ces deux chefs, la nouvelle usine se développe rapidement et livre au commerce les pièces de forge les plus variées. Mais, en 1848, les commandes cessent brusquement dans les usines de la région, et la crise qui en résulte oblige les maîtres de forges à chercher de nouveaux débouchés en créant des produits nouveaux. C'est alors que Pétin et Gaudet ont l'idée de forger, sur les dessins d'Armstrong, un canon en fer pour la Marine. Un peu plus tard ils livrent, bruts de forge, au Comité d'Artillerie un canon de campagne de 86 millimètres et un obusier de même calibre pour servir à la construction des canons d'essais étudiés par le commandant Treuille de Beaulieu. La fabrication des canons en acier est ainsi créée; elle est bientôt suivie de celle des blindages.

(*) Correspondance de MM. Schneider avec MM. Nasmyth Garkitt et Cie, à Patrinoft, près Manchester, en 1843 et 1844.

L'utilisation de la chaleur perdue des fours métallurgiques et le développement des moyens mécaniques appliqués au forgeage et au laminage sont à l'ordre du jour dans toutes les usines de France ; à Decazeville on lamine le rail *Barlow;* l'usine de Rive-de-Gier forge un arbre de 23.000 kilogrammes pour le navire *Eylau*.

Pétin et Gaudet sont alors considérés comme les premiers forgerons de France, et, lorsque Dupuy de Lôme est chargé de réaliser l'idée, émise, dit-on, par Napoléon III, d'entourer les navires d'un revêtement en fer, c'est à eux qu'il s'adresse naturellement. Les premiers blindages de navires sortent donc, en 1853, des usines de la Loire ; à peu près à la même époque, on les fabrique aussi au Creusot. Il s'agit, il est vrai, seulement de plaques de 10 à 12 centimètres d'épaisseur, 1 mètre de large et 4 à 5 mètres de long, que l'on adapte sur les batteries flottantes destinées à l'attaque de Kinburn. Elles sont forgées au pilon, mais déjà Pétin et Gaudet envisagent la possibilité de plaques plus épaisses et de plus grandes dimensions. Ils ne tardent pas à réaliser cette idée par l'application du laminoir à la fabrication des blindages.

A cette époque, on croit que la trempe ne peut avoir d'action que sur les aciers durs et qu'elle ne modifie nullement les propriétés mécaniques du fer laminé. Pétin et Gaudet reconnaissent, au contraire, que le métal acquiert par la trempe à l'eau une ténacité remarquable ; ils ont immédiatement l'idée d'appliquer la trempe aux plaques de blindage qu'ils fabriquent aux laminoirs ; cette pratique, tenue secrète, assure pendant longtemps aux blindages de Saint-Chamond une supériorité que nul en France ne songe à contester. On peut rappeler à ce propos qu'un ingénieur suédois, convaincu de la supériorité des plaques qu'il fabriquait dans son pays avec des minerais d'excellente qualité, vint proposer au Gouvernement Français de lui fournir des blindages satisfaisant aux mêmes conditions

de tir que ceux qu'on fabriquait en France. Ces blindages furent essayés au polygone de Vincennes concurremment avec ceux de Saint-Chamond; mais, au premier coup de canon, le blindage suédois vola en éclats, et son fournisseur en éprouva une belle déconvenue que, séance tenante, il se suicida.

L'acier puddlé. — Les bandages sans soudure. — Jusqu'à ce jour, l'industrie métallurgique du fer et de l'acier ne possède pour les fabrications courantes que les fers au bois et les fers puddlés de fonte au coke ou au bois. Les chemins de fer demandent des métaux plus durs que ces fers à nerfs; mais l'acier corroyé, l'acier fondu sont à des prix trop élevés. Aussi les métallurgistes s'efforcent-ils de résoudre le problème soit en cherchant un métal nouveau, soit en réduisant l'emploi de l'acier fondu strictement aux parties qui doivent présenter une grande dureté.

Le métal nouveau est bientôt trouvé, et le fer à grain qu'on réussit à fabriquer par puddlage, l'acier puddlé, reçoivent immédiatement les applications les plus diverses. La seconde solution ne tarde pas à être également trouvée: on remarque que, si l'on coule de l'acier fondu sur du fer fortement chauffé, les deux métaux se soudent ensemble; F. F. Verdié prend un brevet pour ce procédé et donne le nom d'*aciers mixtes* aux produits ainsi obtenus. En 1854, l'usine de Firminy se crée pour l'exploitation de ce procédé, qui a été plus tard appliqué sur une grande échelle pour la fabrication des plaques de blindage mixtes ou compound.

La création des fers puddlés à grain fin constitue un progrès très important dans l'industrie métallurgique; grâce à ce produit que les usines Pétin-Gaudet fabriquent dès l'origine d'une excellente qualité, il est possible d'aborder les fabrications difficiles que demandent les

chemins de fer alors à leur début, la Marine, l'Artillerie.

A peu près à la même époque, en 1852, l'usine d'Unieux introduit en France le procédé de puddlage de Wolf et Langwiller, permettant de produire des aciers soudables suffisamment durs pour remplacer l'acier cémenté dans la fabrication des ressorts, des aciers corroyés, la taillanderie, l'aciérage des outils et beaucoup d'autres usages, et cette nouvelle fabrication contribue grandement à la prospérité des établissements Jacob Holtzer et Cie.

L'industrie métallurgique se trouve ainsi en possession de métaux présentant des propriétés nouvelles dont l'usine de Rive-de-Gier sait tirer un très grand parti. En 1849, Pétin et Gaudet prennent un brevet pour le laminage des bandages sans soudure, à l'aide de cylindres horizontaux mobiles et en porte-à-faux. C'est là une solution mécanique extrêmement remarquable pour une fabrication qui intéresse au plus haut point la sécurité sur les chemins de fer. Elle ne peut être pratiquement appliquée qu'avec ce fer à grain fin, dur et résistant, que l'on peut alors produire sans difficulté avec les fontes au bois provenant du Berry.

Vers la même époque, à la suite des études dirigées par les généraux Frébault et Virgile et par le colonel Maillard, l'Artillerie de Marine est amenée à reconnaitre l'importance du frettage des corps de canons. Il faut, pour réaliser le désidératum formulé, un métal résistant, élastique, très homogène. Le fer à grain fin, enroulé sans soudure, est ainsi tout indiqué, et Pétin et Gaudet ne tardent pas à fabriquer des frettes présentant toutes les qualités désirables. C'est ainsi qu'en 1859 ils construisent dans l'usine de Saint-Chamond, qu'ils ont récemment créée, et où ils ont installé les nouvelles fabrications, un canon de 16 centimètres en acier forgé, se chargeant par la culasse. La pièce, exécutée sur les plans du colonel Treuille de Beaulieu, a 4m,50 de longueur ; elle pèse 4.600 kilogrammes et

est livrée terminée avec frettage en acier puddlé : on la désigne dans l'artillerie sous le nom de *Marie-Jeanne*.

Un peu plus tard, en 1865, les usines de Saint-Chamond fabriquent un canon de 24 centimètres, du poids de 18 tonnes, également en acier et fretté. C'est le premier canon de gros calibre, avec tous ses éléments en acier, exécuté en France ; installé au mont Valérien, il constitua, en 1870, une des défenses les plus efficaces pendant le siège de Paris.

Les forgerons à Rive-de-Gier. — Dans un pays tel que la vallée du Gier, où de nombreux forgerons se livrent au travail du fer avec des martinets ou dans des forges à main, le marteau-pilon doit recevoir immédiatement les applications les plus diverses. A peine Pétin et Gaudet ont-ils commencé à l'utiliser pour le forgeage des grosses pièces qu'on entrevoit tout le parti qu'on peut tirer d'un appareil dont on règle les coups d'une manière certaine et parfaite. Les plus habiles manieurs de martinet du Gier comprennent qu'avec le nouvel outil, des forgerons même médiocres arriveront à les distancer rapidement ; ils s'empressent de prendre l'avance, et, au bout de peu de temps, les pièces forgées les plus variées et jusqu'alors inconnues sortent de leurs ateliers, où ils utilisent le marteau-pilon à l'étampage, à l'emboutissage, au matriçage.

Les divers ateliers ont des débuts bien modestes ; leurs créateurs font eux-mêmes à peu près tout l'outillage nécessaire. Mais le soin apporté dans les fabrications attire de nombreuses commandes ; il faut agrandir les anciens ateliers, en créer de nouveaux ; les outils se multiplient, ils deviennent de plus en plus puissants ; ce sont d'abord des marteaux-pilons de 2 tonnes, bientôt leur poids dépasse 25 tonnes (1855), et l'on prévoit encore de plus grosses masses frappantes.

On assiste successivement à la création des ateliers des frères Deflassieux (1849), à l'installation des marteaux-pilons de MM. Russery et Lacombe, au développement presque instantané des établissements des frères Marrel. Associés à M. Arbel, les frères Deflassieux créent la fabrication de la roue en fer forgé obtenue d'une seule pièce par matriçage; l'usage des roues de vagon en fer forgé se répand rapidement, et l'on fabrique alors la roue de tender, puis la roue de locomotive avec contrepoids. Ces pièces de forge, dont la fabrication difficile est ainsi abordée pour la première fois, présentent cependant une sécurité telle, que les Compagnies de Chemins de fer les adoptent sans hésitation.

C'est à Rive-de-Gier même que s'installent, en 1853, les six frères Marrel, qui abandonnent leur ancien atelier de Saint-Martin-la-Plaine, relié au chemin de fer de Lyon par des chemins peu accessibles, pour descendre dans la vallée du Gier, où ils peuvent plus facilement aborder le forgeage des grosses pièces. Un premier marteau-pilon de 2.500 kilogrammes est bientôt suivi de plusieurs autres, et, dès 1855, on met en marche un marteau de 25 tonnes, le plus puissant outil de forge de l'époque. En même temps, pour se rapprocher des chantiers de constructions navales qui constituent déjà une partie de leur clientèle, MM. Marrel achètent les forges de la Capelette, près Marseille, où ils installent des laminoirs à blindages, à tôles et à profilés; mais, dix ans après, ils ramènent ces fabrications dans un milieu mieux approprié et construisent alors l'usine des Etaings, près Rive-de-Gier.

Les nouvelles aciéries. — Tandis qu'à Rive-de-Gier se développent d'une manière si remarquable les applications du marteau-pilon que, dix ans à peine auparavant, Pétin a introduit dans la Loire, plusieurs usines pour la fabrication du fer et de l'acier se montent au voisinage de Firminy.

L'usine de Firminy, créée en 1854, entre tout de suite dans une période de très grande prospérité. Le fondateur, Verdié, est en même temps, à l'origine, le directeur; la raison sociale est *Verdié et Cie;* la Société a surtout pour objet l'exploitation d'un brevet pour la fabrication du *produit mixte*, formé d'acier fondu au creuset coulé sur fer.

Déjà, en 1855, on comprend que les rails en fer puddlé ne présenteront qu'une durée limitée : le métal mixte de Firminy doit permettre de fabriquer des rails à tête formée d'acier fondu. C'est là le résultat qu'envisage Verdié, et les conséquences de cette application de l'acier fondu auraient été très importantes, si la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer n'était pas venue ultérieurement vulgariser l'emploi de l'acier fondu en grandes masses. Les plaques *Cammel-Wilson* et *John Brown-Ellis*, qui obtinrent plus tard un réel succès dans des épreuves de tir vers 1878, ne sont d'ailleurs autre chose que le métal mixte de Verdié.

Dès l'origine, l'usine de Firminy multiplie ses fabrications; elle produit des aciers pour outils, des fers fins de première qualité obtenus par puddlage ; la fabrication des ressorts pour chemin de fer devient rapidement importante. Verdié se préoccupe tout d'abord de donner pour base à l'industrie qu'il vient de créer des matières premières de qualité supérieure. Il suit en cela l'exemple de ses voisins d'Unieux, dont la réputation pour les aciers fondus, les aciers cémentés et les aciers puddlés va chaque jour grandissant.

Installée en 1840 à Unieux, par Jacob Holtzer, la fabrication de l'acier fondu s'y développe rapidement. On ne traite que des fontes de Ria (Hautes-Pyrénées), des fontes de Suède de première marque, des fers de Suède affinés au bas foyer, dont l'excellente qualité permet d'obtenir des aciers puddlés et des aciers fondus qui rivalisent avantageusement avec les meilleures marques de Sheffield.

En 1857, avec le concours des établissements de Bochum, où cette industrie a pris naissance, les usines d'Unieux introduisent la fabrication des cloches en acier moulé ; elles sont ainsi les premières dans la Loire et probablement même en France à faire des objets en acier moulé.

C'est encore de la période antérieure à 1860 que datent les établissements Claudinon au Chambon. En 1852, MM. Claudinon et Charrin achètent les fonderies de la Bargette et des Platanes, sur l'Ondaine, et y installent la fabrication des fers marchands et des essieux de charrettes. En 1856, l'usine comprend quatre fours à puddler; en 1860, on installe la fabrication de l'acier, acier puddlé, acier cémenté, acier fondu. La Société, dont la raison sociale est alors *Compagnie des Forges et Aciéries du Chambon-Feugerolles*, achète ses fontes pour fers aux hauts-fourneaux du Pouzin et de Givors; ses fontes pour acier proviennent surtout des hauts-fourneaux de Givors, dont le propriétaire, M. Prénat, a un fort intérêt dans la nouvelle Société. Bientôt on aborde la fabrication des enclumes, des bigornes, des étaux.

Formation des grandes Sociétés métallurgiques. — Tous les industriels de la Loire se préoccupent à ce moment d'assurer leur approvisionnement en matières premières d'excellente qualité. Pétin et Gaudet tirent une grande partie de leurs fontes des hauts-fourneaux qu'ils possèdent à Toga, en Corse; ils achètent également à Vierzon une usine, d'où ils font venir les fers au bois qui leur sont nécessaires. Les capitaux ainsi immobilisés sont considérables, et cependant l'augmentation constante de la puissance de l'outillage exige chaque jour de nouvelles immobilisations.

Pétin et Gaudet sont à la tête de l'industrie métallurgique de la région; à côté de leurs usines, ils voient prospérer des forges et des aciéries qui donneraient

certainement des résultats beaucoup meilleurs si elles étaient réunies dans les mêmes mains. Les forges de Terrenoire, qui s'occupent seulement de fabriquer des fers ordinaires, sont peu intéressantes pour des métallurgistes dont l'unique souci est de livrer à la Guerre et à la Marine des produits de première qualité ; par contre, Pétin et Gaudet comprennent tout l'intérêt que présenterait une association avec les fils Jackson, dont les aciers au creuset jouissent d'une réputation très justifiée. Une entente s'établit bientôt entre Pétin, Gaudet, Jackson frères et plusieurs autres maîtres de forges des environs de Saint-Chamond et de Rive-de-Gier, et la nouvelle Société (14 novembre 1854) est constituée sous la raison sociale *Jackson frères, Pétin, Gaudet et Cie, Compagnie des hauts-fourneaux, forges et aciéries de la Marine et des Chemins de fer.* Elle résulte de la fusion des Sociétés *Jackson frères, — H. Pétin, Gaudet et Cie, — Neyrand, Thiollière, Bergeron et Cie, — Parent, Shaken, Goldsmith et Cie.*

Immédiatement, sous l'habile direction de Pétin et de Gaudet, les applications de l'acier fondu se multiplient. De 1855 datent les premiers essais des aciers pour canons de fusil, et, en 1857, on remet au colonel Bertrand, directeur de la Manufacture de Saint-Étienne, des quantités importantes de canons de fusils forés. En même temps, les usines d'Assailly livrent des cuirasses de cavalerie dont le poids est relativement très faible. On aborde aussi la fabrication des grosses pièces ; on tente pour la première fois la fabrication des tôles d'acier pour chaudières, des essieux coudés de locomotive en acier fondu, des gros arbres en fer à trois coudes pour la Marine.

Les trois principales usines de la nouvelle Société sont les forges de Rive-de-Gier, les aciéries d'Assailly, les forges de Saint-Chamond. C'est à Saint-Chamond que sont accomplis les progrès les plus remarquables dans la

fabrication du matériel de guerre. Les frettes d'acier puddlé constituent déjà un très grand perfectionnement pour l'artillerie de l'époque; mais, dès qu'ils possèdent les aciéries d'Assailly, Pétin et Gaudet créent la fabrication des canons en acier fondu; et, lorsque, en 1865, l'Artillerie de la Marine adopte les tubes en acier pour ses pièces de gros calibre, cette nouvelle fabrication se développe rapidement et aborde les bouches à feu de 16, de 19 et de 24 centimètres.

Les progrès sont aussi importants dans l'art des blindages. Aux premières plaques de 12 centimètres forgées à Rive-de-Gier au pilon, succèdent bientôt, en 1858, les plaques laminées de Saint-Chamond. Immédiatement les blindages deviennent un facteur important dans l'industrie métallurgique; on peut les produire en quantité presque illimitée, tandis qu'auparavant, malgré les développements donnés aux ateliers de forgeage, les usines Pétin-Gaudet et Marrel arrivaient à grand'peine à satisfaire les nombreuses demandes de notre Marine et des Marines étrangères.

Entraînées par le mouvement métallurgique qui pousse tous les industriels de la région vers la fabrication de produits d'excellente qualité, les usines de Terrenoire entrent également en voie de transformation.

De 1839, date à laquelle l'ancienne Compagnie des Forges de la Loire et de l'Isère a pris le nom de *Compagnie des Fonderies et Forges de la Loire et de l'Ardèche*, jusqu'en 1855, les forges de Terrenoire fabriquent exclusivement les fers de la qualité ordinaire du commerce, et aucune tentative n'est faite pour améliorer cette fabrication. La Société fusionne alors avec celle de Bessèges, et, à partir de 1859, la raison sociale devient *Compagnie des Fonderies et Forges de Terrenoire, la Voulte et Bessèges*. La nouvelle Société possède les usines de Terrenoire, de la Voulte, de Bessèges, les forges de Lorette

achetées en 1850, l'usine du Pouzin; elle exploite à bail les usines et mines de Tamaris, près d'Alais. Elle représente ainsi une partie importante de la métallurgie du Midi de la France.

De la même période date la *Société des Fonderies et Forges de l'Horme*. Elle résulte de l'Association réalisée en 1847 entre la forge de Saint-Julien-en-Jarez et celle créée à l'Horme en 1840. En 1860, la Société possède des hauts-fourneaux, des forges, et la mine de Veyras, dans l'Ardèche, d'où elle tire la plus grande partie des minerais qui lui sont nécessaires.

Résultats obtenus de 1840 à 1860. — Les progrès accomplis dans les usines métallurgiques de la Loire sont donc très importants dans la période de 1840 à 1860. Favorisés par le développement des chemins de fer et par les conditions nouvelles imposées aux constructions navales et aux armements destinés à la Guerre et à la Marine, ils consistent surtout dans l'accroissement de la puissance de l'outillage mécanique pour la forge et le laminage des grosses pièces. La Loire tient toujours le premier rang dans les nouvelles fabrications. Il a fallu, il est vrai, renoncer aux espérances autrefois conçues sur la production des fontes à l'aide des minerais indigènes; mais cependant les hauts-fourneaux du Janon et ceux de L'Horme restent en feu, et, en 1860, la production annuelle est de 10.000 tonnes de fonte.

Les prix des transports du minerai et de la fonte ont d'ailleurs bien diminué. La substitution en 1850 des rails de 36 kilogrammes aux rails de 13 kilogrammes sur le chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne permet de remplacer les locomotives tender de Verpilleux, remontant seulement les vagons de Rive-de-Gier à Saint-Étienne, par des locomotives puissantes circulant sur toute la ligne. Sur le Rhône, depuis 1840, les bateaux-grappins de Ver-

pilleux remontent à très bon compte les fontes de la Voulte jusqu'à Givors.

En 1860, la production des fers dans la Loire atteint près de 10 p. 100 de celle de la France entière, et la statistique du Service des Mines accuse les chiffres suivants :

	Loire.	France.
Acier puddlé..........	9.232 tonnes	16.917 tonnes
Acier de cémentation..	3.056 —	6.413 —
Acier fondu...........	5.418 —	6.517 —
Total.........	17.706 tonnes	52.454 tonnes

La production totale des fers, en France, est alors de 744.645 tonnes.

A la même date, la Loire livre au commerce environ les 2/3 des aciers produits en France, et l'on constate les chiffres suivants :

Fers marchands à la houille...	53.192 tonnes
Rails........................	8.844 —
Tôles produites avec des fers à la houille..................	4.463 —
Fil de fer...	835 —
Total...............	67.534 tonnes

La plupart des grandes usines sont déjà créées; la Société Jackson frères, Pétin-Gaudet et C[ie] possède des usines à Saint-Chamond, à Rive-de-Gier, à Assailly, à Toga en Corse, à Vierzon. Les aciers fondus sont produits surtout à Assailly, à Unieux et à Firminy; le puddlage pour acier s'est rapidement répandu dans toutes les forges, et les aciers puddlés ont déjà reçu les applications les plus diverses. Les nombreuses forges de Rive-de-Gier rivalisent entre elles pour la fabrication des pièces de forge les plus difficiles ; les gros pilons de Pétin-Gaudet, à Saint-Chamond, et des frères Marrel permettent de forger des pièces de plus de 25 tonnes.

On prévoit déjà les applications nombreuses de l'acier fondu, et c'est surtout en vue de les réaliser que vient de s'installer l'usine de Firminy. La préoccupation dominante est de produire des fers et surtout des aciers de première qualité; aussi recherche-t-on les fontes pures du Berry, et celles des Pyrénées, encore fabriquées au charbon de bois; la plupart des usines s'efforcent de fabriquer leurs fontes elles-mêmes en créant ou en achetant des hauts-fourneaux dans les régions pourvues de bons minerais. La connexion de l'Ardèche avec la Loire, déjà prévue par de Gallois, va ainsi s'accentuant, et, lorsque M. Paulin Talabot fait connaître, un peu plus tard, aux industriels, que les mines de Mokta-el-Hadid, dont il a créé la Société, peuvent fournir des minerais riches et purs en quantité pour ainsi dire illimitée, on prévoit que la métallurgie de la Loire va encore prendre un nouveau développement.

IV

PÉRIODE DE 1860 A 1880.

Les minerais purs ; Mokta-el-Hadid. — La période de 1860 à 1880 commence en effet avec ces deux faits d'importance capitale pour la région; la découverte du procédé Bessemer et la mise en valeur des minerais de fer de l'Algérie.

L'invention de Bessemer est une véritable révolution dans l'industrie métallurgique; mais, pour que la Loire puisse en tirer parti, il faut en même temps que des minerais riches et purs puissent être importés à bas prix et en grande quantité. Aussi voit-on toutes les usines du Centre s'intéresser à la question des minerais algériens. Le Creusot, Pétin-Gaudet, Terrenoire, Châtillon et Com-

mentry s'unissent dans une action commune; mais l'un des principaux initiateurs de cette œuvre importante est Verdié, le créateur des usines de Firminy. Ses fréquentes relations avec Paulin Talabot l'amènent à prendre une très grande part aux combinaisons d'où résulte la création d'une grande exploitation à Mokta-el-Hadid, près de Bône.

Il ne suffit pas d'extraire ces minerais, il faut encore les amener à bas prix. Le développement rapide des chemins de fer peut donc seul rendre possible l'emploi, dans la Loire, de ces minerais situés à grande distance, et bientôt la haute situation de M. Paulin Talabot, directeur des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée et promoteur de la Société de Mokta, permet d'obtenir des tarifs suffisamment réduits pour leur importation. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée crée même bientôt un service spécial de bateaux à vapeur pour le transport des minerais de Bône à Cette.

Il résulte de là, pour l'industrie de la fonte dans la Loire, un développement immédiat. L'usine de Terrenoire est la première à utiliser les nouveaux minerais; elle passe avec la Société de Mokta un marché de 60.000 tonnes par an, pendant vingt ans. Plus tard, en 1873, la Société Verdié, de Firminy, crée un haut-fourneau pouvant produire 75 à 90 tonnes par jour; dès l'origine, le haut-fourneau est muni des appareils à air chaud en briques, récemment inventés par Whitwell.

La Société Pétin-Gaudet a acheté depuis peu les usines de Givors, comprenant trois hauts-fourneaux, mais ses mines de Saint-Léon, en Sardaigne, suffisent à les alimenter. La production de fonte y est de 25.000 tonnes, et, dès 1863, on constate que cette usine produit des fontes spéculaires semblables à celles de la Westphalie et destinées à les remplacer dans l'addition qui termine l'opération Bessemer. La consommation en fonte des

usines de la Société est d'ailleurs encore assurée par les quatre hauts-fourneaux au bois de Toga (Corse), qui reçoivent à la fois des minerais de Sardaigne, de l'île d'Elbe, d'Espagne et d'Algérie, et dont la production est de 18.000 tonnes, et par l'usine de Clavières, dans l'Indre, dont les deux hauts-fourneaux sont alimentés par les minerais pisolithiques des environs de Châteauroux. Cependant, en 1873, un haut-fourneau est installé à Saint-Chamond même; mais on le démolit presque immédiatement par suite de sa mauvaise marche, et la fonte pour les usines de la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine est alors, à partir de cette époque, exclusivement demandée aux hauts-fourneaux de la Compagnie, à Givors.

Le procédé Bessemer. — L'acier doux. — Grâce aux minerais purs qui arrivent maintenant à des prix suffisamment bas pour permettre de produire à bon compte des fontes propres à l'affinage au convertisseur, le procédé Bessemer, presque dès son origine, peut se développer rapidement dans la Loire. On vient récemment de l'appliquer à l'usine de Dowlais, dans le Pays de Galles; mais l'affinage est tellement rapide qu'une durée de quelques minutes de plus ou de moins dans l'opération donne du métal brûlé ou, au contraire, un acier insuffisamment décarburé. L'arrêt de l'opération au moment voulu est donc la principale difficulté à laquelle se heurte le nouveau procédé, et, pour que celui-ci devienne pratique, il faut la découverte de l'addition finale qui permet de raffiner le métal oxydé, tout en augmentant notablement sa teneur en carbone.

Dans le Cumberland et dans le Lancashire, le nouveau procédé est immédiatement appliqué aux fontes d'hématite avec lesquelles il donne d'excellents résultats; il se développe moins rapidement dans les autres centres métallur-

giques anglais ; les minerais du Cleveland, notamment, sont trop phosphoreux pour le traitement au convertisseur. Plus tard seulement l'importation des minerais de Bilbao a pour effet de multiplier les ateliers Bessemer dans toute l'Angleterre.

Dans la Loire, on observe d'abord une certaine défiance à l'égard d'un procédé qui paraît trop expéditif pour donner des résultats bien certains ; mais, dès que Gruner fait connaître le rôle de cette addition finale qu'il a vu appliquer en Angleterre, les industriels comprennent tout le parti qu'on peut tirer du procédé. En 1861, Gaudet, qui vient de recevoir la visite de Bessemer, se rend en Angleterre, et, dès son retour, la Société Pétin-Gaudet, la première en France, importe le procédé Bessemer et installe dans son usine d'Assailly deux convertisseurs de 5 tonnes. C'est là une industrie toute nouvelle, au début de laquelle on trouve naturellement une assez longue période de tâtonnements. Les produits sont d'abord irréguliers, et ce n'est qu'au bout de deux ans que le procédé est mis au point ; dès ce moment il entre dans la pratique courante et donne alors de remarquables résultats.

Un peu plus tard deux grands convertisseurs de 10 tonnes sont installés aux usines de Saint-Chamond, qui peuvent alors produire des lingots de 20 tonnes en acier Bessemer.

La Société de Terrenoire suit immédiatement l'exemple de la Société Pétin-Gaudet dans l'application du procédé Bessemer. Des convertisseurs sont installés à l'usine de Terrenoire, et l'expérience acquise à l'usine d'Assailly permet d'obtenir tout de suite des résultats pratiques. Dans la fabrication des rails, la réussite est parfaite, et les produits obtenus se substituent immédiatement aux anciens rails en fer soudé. Il s'agit là, il est vrai, d'aciers notablement carburés que l'addition finale de *spiegel* donne assez facilement ; mais bientôt l'usine de Terrenoire tente

au convertisseur la fabrication de l'acier doux, et, la première en France, elle produit des tôles en métal extra-doux Bessemer. Les résultats ne donnent pas d'abord une sécurité complète ; mais, peu après 1867, on arrive à des produits bien réguliers présentant des résistances et des allongements tout à fait satisfaisants.

L'année 1865 marque d'ailleurs pour l'usine de Terrenoire le commencement d'une période de transformation. Jusque-là la *Société des Fonderies et Forges de Terrenoire, la Voulte et Bessèges*, s'est exclusivement occupée de la fabrication des fers ordinaires ; à partir de cette époque, et grâce aux minerais de Mokta, elle aborde avec succès la fabrication des fers et des tôles de qualité supérieure. Puis, lorsque le procédé Bessemer fonctionne régulièrement, les recherches entreprises pour la fabrication des aciers extra-doux donnent lieu à des travaux qui constituent un grand progrès dans la fabrication des aciers fondus.

Jusqu'alors le raffinage des aciers Bessemer suroxydés se fait toujours à l'aide de *spiegel*, c'est-à-dire à l'aide d'un produit tenant, en même temps que du manganèse, une proportion élevée de carbone. Le raffinage est, par suite, accompagné d'une recarburation inévitable, et le métal obtenu, bon pour la fabrication des rails, est impropre à la fabrication des tôles, cornières, etc... Pour obtenir des aciers doux, il faut employer comme addition finale du ferromanganèse à forte teneur en manganèse, 70 et même 80 p. 100, permettant, pour une quantité de manganèse déterminée, de n'introduire dans le métal qu'une très faible quantité de carbone.

C'est à Terrenoire qu'est prise l'initiative de l'application du *ferromanganèse* au raffinage des aciers. On y emploie d'abord un alliage à 25 p. 100 de manganèse, acheté en Angleterre et produit par Henderson sur la sole d'un four Siemens, puis cette fabrication est mise en

pratique à l'usine même. On utilise quatre fours Siemens à sole en graphite ; deux sont toujours en réparation ; la matière première est demandée aux usines à chlore ; elle est formée par l'oxyde régénéré qui constitue un des résidus de la fabrication. Mélangée à du minerai de Mokta, à 10 p. 100 de brai sec, à 15 p. 100 de houille et à un peu de spath-fluor, elle est introduite dans le four à l'état de briquettes déjà chauffées au rouge dans un four dormant ; suivant la teneur en manganèse qu'on veut obtenir, on ajoute après fusion du spiegel en plus ou moins grande proportion. Un peu plus tard on arrive à produire au creuset des alliages à 80 p. 100 de manganèse.

La fabrication des aciers Bessemer extra-doux est ainsi rendue possible, et, dès l'année 1868, l'usine de Terrenoire livre à la Compagnie transatlantique 300 tonnes de tôles pour chaudières dont les résultats d'épreuve à la traction indiquent 40 à 42 kilogrammes de résistance à la rupture avec un allongement de 28 à 30 p. 100.

Les recherches de l'usine de Terrenoire sur la fabrication des alliages de fer riches en manganèse se poursuivent d'ailleurs en grand dès qu'on applique les appareils Cowper au chauffage de l'air des hauts-fourneaux. On produit successivement au haut-fourneau des fontes manganésées, des ferromanganèses, des fontes siliceuses, des silico-spiegels, toutes fontes spéciales dont les applications au raffinage des aciers doux et à la fabrication des aciers sans soufflures permettent de réaliser des progrès importants dans la métallurgie de l'acier fondu, que celui-ci soit obtenu par le procédé Bessemer ou par le procédé Martin d'invention alors toute récente.

Le procédé Siemens-Martin. — Les aciers sans soufflures. C'est en effet vers 1862 que le principe de la récupération par des chambres à briques, appliqué aux fours à

reverbère, donne la possibilité d'obtenir de très hautes températures. Les usines de fusion au creuset, Firminy, le Chambon, Assailly, Unieux, vont alors bientôt substituer les fours à gaz aux anciens fours à coke ou à anthracite. Le premier four est d'abord construit aux aciéries de Firminy, au commencement de 1865; un second y est établi en 1866. Un peu plus tard, en 1868, les aciéries Claudinon, au Chambon, installent, elles aussi, un four Siemens, et les résultats obtenus sont tellement satisfaisants que Siemens, reconnaissant qu'il est par là aidé à la mise en valeur de son brevet, abandonne toute redevance.

A la même époque, on expérimente le procédé de la fusion sur sole à l'usine de Sireuil, dans un petit four d'essai ; mais c'est l'usine de Firminy qui réalise la première application industrielle du procédé Martin et montre tout le parti que l'on peut en tirer. C'est là une étape extrêmement importante dans la métallurgie de l'acier ; on utilise ainsi les chutes et les rebuts provenant du laminage des rails et des autres produits; mais la fusion sur sole rend surtout aux usines de la Loire les plus grands services dans la fabrication des fers et des aciers de qualités spéciales, que l'appareil Bessemer, trop expéditif, ne peut donner à coup sûr avec des compositions bien déterminées.

A l'usine de Firminy, le procédé Martin devient rapidement pratique ; on obtient immédiatement, d'une manière courante, des aciers de qualités diverses et de toutes les nuances de dureté. Les premières fabrications essentielles sont les rails, les bandages, les essieux et autre matériel de chemin de fer dont les commandes sont facilitées par l'influence dans les différentes Compagnies de chemin de fer d'un certain nombre de ses administrateurs, entre autres de P. Talabot.

Le four Martin-Siemens est ensuite appliqué dans les

usines de Terrenoire et dans celles du Creusot où P. Bouvard installe des fours à puddler rotatifs pour la fabrication des matières pures destinées à la fusion sur sole. A Terrenoire, la fabrication des aciers doux Martin est immédiatement couronnée d'un plein succès, et, à la suite d'essais sur ces produits, MM. de Bussy et Barba, ingénieurs des constructions navales, décident, en 1871, la construction d'un grand navire en acier. Voilà donc, dès 1872, l'acier Martin intervenant dans la coque des navires; les essais heureux du Creusot à la Spezzia, en 1876, ont plus tard pour résultat d'amener la substitution de l'acier dur aux anciens blindages en fer corroyé.

Par suite des méthodes de travail qu'ont toujours pratiquées les ingénieurs et les maîtres de forges de la région de Saint-Étienne, on comprend facilement que le four Martin inaugure dans la Loire une période de progrès dans les diverses fabrications. Malheureusement, dans chaque usine, les efforts restent isolés ; les découvertes sont nombreuses ; mais, chacun les garde jalousement pour soi dans la crainte que les usines concurrentes ne mettent en application les mêmes procédés ; il en résulte un gaspillage de temps et d'argent extrêmement regrettable qui paralyse la marche en avant de l'art métallurgique. A ce point de vue, c'est certainement un grand honneur pour l'usine de Terrenoire de n'avoir pas craint de tenir le monde industriel au courant des résultats réalisés dans ses ateliers, et les nombreuses communications faites par J. Euverte, son directeur, aux réunions de la Société de l'Industrie minérale, notamment lors du Congrès tenu à Saint-Étienne, en 1875, ont certainement beaucoup accéléré les progrès de la fabrication de l'acier dans la région de la Loire. Peut-être les résultats ainsi exposés au grand jour avaient-ils déjà été obtenus dans d'autres usines ; mais le mérite de cet inventeur qui livre à la publicité le fruit de ses recherches n'est-il pas beaucoup plus grand, beaucoup

plus estimable, que le mérite de cet autre qui garde pour lui seul les perfectionnements qu'il peut apporter aux appareils ou aux méthodes qu'il doit lui-même à la publicité des découvertes antérieures?

Quoi qu'il en soit, les usines de Saint-Chamond, de Terrenoire, de Firminy, rivalisent dans la production de pièces intéressantes et dans la mise en œuvre de nouveaux procédés de fabrication. A la fin de 1874, Firminy, devançant en quelque sorte l'application des procédés de réduction directe qui sera plus tard faite avec assez de succès aux États-Unis, tente la production de l'éponge de fer destinée à être ajoutée à la fonte pour la fusion au four Martin. La réduction, obtenue par le procédé Micolon, s'effectue par le charbon de bois dans des cornues verticales chauffées à la houille. Les essais durent un mois, mais les prix élevés du charbon de bois et des minerais importés de Carthagène et d'Algérie ne permettent pas d'abaisser le prix de revient de l'éponge au-dessous de 135 francs par tonne.

A Saint-Chamond, Pernot, chef de fabrication, imagine de rendre mobile la sole des fours à gaz, et cette innovation est pendant longtemps très en faveur dans la Loire pour le puddlage des fontes et pour la fusion des aciers sur sole; les fers puddlés obtenus au four Pernot sont d'ailleurs réputés de qualité supérieure à ceux que donne la pratique courante du puddlage dans les fours à sole fixe.

Les publications de J. Euverte, à la suite de nombreux essais faits à Terrenoire sur les aciers obtenus au four Martin, contribuent surtout à faire connaître les propriétés des métaux fondus. L'usage des alliages riches en manganèse, des ferro-manganèses pour la fabrication des aciers doux, permet, après de longues et laborieuses recherches, de mettre en lumière la règle suivante, énoncée d'abord, en 1874, devant la Société des Ingé-

nieurs civils, à Paris (*) : « On peut introduire du phosphore dans l'acier fondu, à condition d'éliminer le carbone, et, moins l'acier contiendra de carbone, plus il « pourra contenir de phosphore. » On reconnait, d'autre part, que, même dans les aciers un peu carburés, on peut laisser une proportion notable de phosphore qui peut atteindre 0,25 p. 100, 0,30 p. 100 même, à condition que le métal contienne une certaine dose de manganèse ; ce ne sont pas là sans doute des aciers de première qualité, mais on pense les appliquer à la fabrication des rails.

Si l'on se reporte au temps où ces propriétés sont établies, c'est-à-dire à une époque où les procédés de déphosphoration, que nous connaissons actuellement, n'existent pas encore, on comprend qu'on ait attribué une grande importance à la publication de cette découverte. Les compagnies de chemins de fer remplacent déjà les vieux rails en fer par des rails en acier, et l'on pense pouvoir réemployer chaque année au four Martin, pour acier fondu, 200.000 tonnes de vieux rails dont une grande partie est jusque-là sans utilisation par suite de la teneur en phosphore. Les produits obtenus ne réalisent cependant pas toutes les espérances auxquelles ils ont donné lieu ; les rails phosphoreux fondus sont de qualité plutôt médiocre, et ils doivent être retirés du service au bout de quelques années seulement.

C'est pour mettre en application l'utilisation des vieux rails phosphoreux qu'est alors créée par Valton, ancien ingénieur de Terrenoire, l'usine d'Alexandrowsky, près de Saint-Pétersbourg.

Est-ce à une usine de la Loire qu'il faut attribuer l'introduction en France de la fonte dure ou métal Grüson ? Il semble que la question du moulage des fontes dures

(*) *Comptes Rendus des séances de la Société des Ingénieurs civils.* Communication d'Euverte, 1874. — *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale : Congrès de l'Industrie minérale*, 1875.

ait été réalisée dès 1867-1868 par l'usine Saint-Jacques, à Montluçon, tandis que les résultats obtenus à Terrenoire dans la fabrication des projectiles de rupture pour l'attaque des plaques de blindage datent de 1869. Quelques années plus tard, l'usine de Saint-Chamond aborde elle-même la production de la fonte dure qu'elle applique surtout à la fabrication des blindages, et bientôt des plaques de fonte durcie, dont le poids atteint jusqu'à 50 tonnes, assurent à la France des défenses très efficaces pour ses fortifications permanentes.

La fabrication délicate des projectiles en fonte dure est à Terrenoire le point de départ d'une découverte très importante, celle de la production des aciers sans soufflures. La fonte dure est obtenue par la fusion au four Martin d'une fonte très grise à laquelle on ajoute de bons riblons d'acier; lorsque le bain est à un état convenable, on coule, et, s'il s'agit d'un projectile, la pointe est coulée en coquille, et la partie cylindrique en sable. On reconnaît bientôt que, dans certains cas, le métal coulé est rempli de petites soufflures, et l'opération est manquée; un examen attentif montre que ces soufflures se produisent d'autant plus que la fonte initiale contient moins de silicium. L'action du silicium sur la coulée du métal est ainsi mise en évidence; immédiatement le dosage du silicium dans la fonte initiale permet de déterminer l'addition de riblons qu'on ne doit pas dépasser, et l'on obtient normalement des projectiles en fonte dure sans soufflures.

La découverte de l'action du silicium sur l'acier fondu n'est cependant pas alors une nouveauté. Déjà, en France, la présence du silicium dans les aciers au creuset, et surtout dans les aciers styriens, où la nature du graphite employé pour faire les creusets en favorise l'introduction, a déjà été reconnue par Boussingault et signalée aux usines d'Unieux, qui ont pu se rendre compte de l'influence du silicium, en

présence du manganèse, sur les fabrications. En 1855, et plus tard en 1867, les usines de Krupp, à Bochum, ont exposé à Paris des pièces moulées très bien réussies, notamment des croisements et des roues pleines ; on sait que le silicium est un des éléments de cette fabrication, et Bessemer a pris, en 1861, un brevet pour cette application ; même avant cette date, des savants anglais, et notamment Fairbairn, ont indiqué les propriétés du silicium. Mais tous les procédés de détail sont restés secrets ; l'opinion générale est qu'on ne peut produire sans soufflures que des aciers durs, et pendant quelque temps, à Terrenoire, on ne peut en effet produire que des aciers moulés dont la charge de rupture atteint 70 à 74 kilogrammes avec un allongement de 12 à 17 p. 100.

Bientôt on reconnaît que l'action du silicium n'est véritablement efficace que si celui-ci est ajouté au moment de la coulée ; pour produire des aciers doux, il faut donc disposer d'alliages riches en silicium, de telle sorte que l'on puisse ajouter au moment de la coulée une dose suffisante de silicium, tout en introduisant le minimum de carbone dans le bain. C'est ainsi qu'on est amené à produire industriellement des alliages contenant à la fois du silicium et du manganèse, tel qu'un alliage à 8,10 p. 100 de silicium, 14,50 p. 100 de manganèse et 1,30 de carbone, dont l'introduction dans le métal au moment de la coulée donne d'une manière certaine des lingots ou des moulages sans soufflures. De la publication des résultats va résulter un grand développement pour l'industrie des moulages d'acier, qui prend bientôt dans la Loire une place si importante (*).

Le travail mécanique des métaux. — L'acier fondu obtenu par les nouveaux procédés de fabrication Bessemer et

(*) *Comptes Rendus des réunions de la Société des Ingénieurs civils.* Communication d'Euverte, 1877.

Martin peut alors être produit au degré de carburation voulu et sans soufflures. Ses applications se multiplient; la Guerre, la Marine demandent des bouches à feu de diamètre de plus en plus grand; les épreuves de la Spezzia victorieusement subies par le Creusot, qui propose des plaques de 55 centimètres pour le cuirassement des navires italiens *Duilio* et *Dandolo*, met au premier rang les blindages entièrement en acier fondu. Mais l'outillage pour la manœuvre et le travail mécanique de ces énormes lingots dont le poids dépasse 50 tonnes devient insuffisant; on prévoit des pièces plus lourdes encore, et, en 1880, l'usine de Saint-Chamond, précédée en cela seulement d'un an par le Creusot, établit un marteau-pilon de 100 tonnes desservi par des grues de 150 tonnes.

En même temps l'on aborde dans la Loire, la fabrication des gros canons en acier de la Marine; les usines de Saint-Chamond, celles de MM. Marrel, sont les plus puissamment outillées; elles produisent des tubes de 38 tonnes pour canons de 42 centimètres; les canons de la Guerre sont également entrepris par les usines de Saint-Étienne, de Firminy, et l'usine du Marais livre même des frettes-tourillons pour canons de 42 centimètres.

Les Aciéries de Saint-Étienne, ou usines du Marais, dont il est ici question pour la première fois, datent seulement de 1865. La raison sociale est *Compagnie des Fonderies, Forges et Aciéries de Saint-Étienne*. Au point de vue technique, le créateur est Barrouin, ancien directeur des Forges du Creusot jusqu'en 1853, et de 1853 à 1865, ingénieur en chef de la Société Pétin, Gaudet et Cie. La nouvelle usine est donc tout d'abord établie sur un type à peu près analogue à celui des usines Pétin-Gaudet, avec un outillage moins puissant. Elle acquiert rapidement une situation importante dans la région, au point de vue de la perfection des produits et de la régularité de la qualité. Dès le début, la fabrication des bandages en

acier puddlé est soignée d'une façon tout à fait particulière; ses bandages qualité Wickers réussissent bientôt à prendre une place importante dans les Compagnies de chemins de fer.

La fabrication des tôles est surtout une des spécialités de cette usine, qui fabrique avec une égale perfection les tôles de fer et les tôles d'acier. L'usine du Marais rend ainsi un très grand service à toutes les industries, en fabriquant des tôles de chaudières dans lesquelles on peut avoir toute confiance.

Les aciers au creuset. — L'acier chromé. — Pendant que les aciers Bessemer et Martin prennent dans la Loire une si grande extension, la fabrication des aciers au creuset se perfectionne de jour en jour. Déjà, en 1856, l'usine d'Assailly livre des canons de fusil forés à la Manufacture d'armes; mais cette fabrication se développe surtout en 1866, au moment de la création du type Chassepot. L'outillage est alors augmenté de telle sorte qu'en deux ans on peut livrer 600.000 canons de fusil.

Il est d'ailleurs à remarquer que les renouvellements de l'armement de l'infanterie étant faits exclusivement par la Loire (canons de fusil, armatures, baïonnettes, sabres, etc.), chaque modèle nouveau de fusil correspond à une période de grande activité dans la région. Le fusil modèle 1874 (Gras), le fusil modèle 1886 (Lebel) indiquent par leurs dates mêmes une recrudescence dans la production pour les trois années suivantes. Les armatures et pièces détachées se font surtout en acier Martin; mais, pour les canons et les sabres, on n'emploie que des aciers au creuset, et les usines d'Unieux livrent plus de la moitié de tous les canons que demandent les manufactures d'armes pour la fabrication du fusil Lebel.

Les suites de la guerre de 1870 ont d'ailleurs une grande influence sur le développement métallurgique de

la région. Une salutaire émulation entre les diverses usines les fait rivaliser d'efforts pour doter la France d'un armement dont la supériorité impose le respect aux nations voisines; les expériences et les innombrables essais qu'exige l'artillerie dans les réceptions du matériel de guerre font passer sous les yeux des ingénieurs une multitude de données qui conduisent à de très grands progrès dans les diverses fabrications.

En 1875, les remarquables études de A. Brustlein, directeur des aciéries d'Unieux, amènent ces usines à produire des ferrochromes et des aciers chromés qui présentent des qualités de résistance et de dureté jusqu'alors inconnues. Les obus de la maison Holtzer, en acier chromé et trempé par des jets énergiques, permettent, quelques années plus tard, d'utiliser réellement la puissance de la nouvelle artillerie et acquièrent une réputation universelle. Les travaux de A. Brustlein, en mettant ainsi en évidence les qualités des aciers chromés, sont en réalité le point de départ de la fabrication des aciers spéciaux; on étudie alors les propriétés des alliages du fer avec le nickel, le manganèse, etc...; il en résulte une voie nouvelle ouverte à l'industrie métallurgique de la Loire.

Résultats obtenus de 1860 à 1880. — Le fait capital de la période de 1860 à 1880 est la découverte de procédés permettant de produire l'acier fondu en grandes masses. On peut alors aborder des fabrications nouvelles, et les procédés Bessemer et Martin, mis dès l'origine en application dans la région, y reçoivent de nombreux perfectionnements. La Loire est à la tête du mouvement métallurgique, et les ingénieurs éminents qui dirigent les usines de Saint-Chamond, de Terrenoire, d'Unieux, de Firminy, portent la fabrication des aciers fondus à un haut degré de perfection.

Mais, pour produire les aciers Bessemer au degré de

carburation voulu, pour déterminer exactement la composition du bain qui, au four Martin, donne des fers ou des aciers dont les propriétés sont connues, les traditions et l'habileté des chefs de service, des contremaîtres et des ouvriers, ne sont plus suffisantes. Avant 1860, seule la pratique courante indique les matières premières qui conviennent pour les diverses fabrications ; en fait, les analyses chimiques et même les essais mécaniques sont à peu près inconnus. C'est de l'application du procédé Bessemer que datent les laboratoires d'essais mécaniques et d'analyses chimiques dont toutes les usines sont bientôt pourvues.

Les aciers obtenus dans la Loire au convertisseur ou au four à sole présentent dès l'origine, par suite de l'application des méthodes scientifiques à leur fabrication, des propriétés remarquables d'où résulte un développement très rapide. Dans la période de 1860 à 1880, la production de la fonte et celle des aciers augmentent constamment. C'est ainsi que la quantité de fonte produite dans la Loire passe de 10.500 tonnes en 1860 à 26.600 tonnes en 1870, et à 61.000 tonnes en 1880. La production des aciers suit une marche ascendante analogue ; elle passe successivement de 17.700 tonnes en 1860, à 52.500 tonnes en 1870, et à plus de 116.000 tonnes en 1880 ; elle est alors le tiers de la production totale des aciers en France.

Par contre, le fer puddlé dont la production augmente jusqu'en 1870 ne tarde pas à être graduellement remplacé par l'acier et notamment par le métal Martin ; sa production tombe de 96.000 tonnes en 1870 à 76.000 tonnes en 1880, soit environ 8 p. 100 de la production totale en France, et, à cette époque, les rails en fer ne figurent dans ce total que pour quelques centaines de tonnes.

La Loire reste toujours le grand centre de la production des aciers fins. Pour les aciers puddlés, les aciers

cémentés, la production y atteint la moitié de celle de la France ; la production des aciers au creuset s'y maintient à peu près constante, de 6.000 à 7.000 tonnes, sur une production totale, en France, de 7.000 à 8.000 tonnes.

Par suite de l'importation à des prix relativement peu élevés des minerais purs de Mokta, jusque vers la fin de la période les conditions économiques de la fabrication des fers et des aciers purs dans la Loire sont assez favorables, et, en 1880, l'ensemble de la production du fer et de l'acier atteint 193.000 tonnes se répartissant comme suit :

	Loire. — Tonnes.	France. — Tonnes.
Rails en fer	361	42.325
Fers marchands et spéciaux	58.763	768.785
Tôles de fer	17.717	154.643
Ensemble de la production du fer	76.841	965.753
Acier Bessemer et Martin :		
Rails	68.328	279.498
Aciers marchands	23.750	62.735
Tôles	7.640	17.688
Ensemble acier Bessemer et Martin	99.718	359.921
Acier puddlé et de forge	9.603	18.604
Acier cémenté	1.163	2.137
Acier fondu au creuset	5.626	7.777
Ensemble de la production de l'acier	116.110	388 439

Le développement immédiatement pris par l'acier dans la région est donc très remarquable ; en 1880, la Loire produit presque le tiers de la quantité totale d'acier que livrent les usines françaises.

Les Aciéries de la Marine sont les grands producteurs d'acier Bessemer ; elles possèdent sept convertisseurs : deux à Givors, trois, dont un de 9 tonnes, à Assailly, et deux de 10 tonnes à Saint-Chamond ; les usines de Terrenoire possèdent elles-mêmes quatre convertisseurs de

4 tonnes; mais elles livrent surtout au commerce, à raison de 2.000 tonnes environ par mois, des aciers fondus sur sole obtenus dans neuf fours Martin-Siemens. Il y a encore onze fours Martin à Firminy, trois fours Pernot pour la fusion de l'acier à Saint-Chamond. On produit l'acier fondu au creuset dans les usines d'Unieux, du Chambon, de Firminy, d'Assailly.

Les Aciéries de Saint-Étienne ont un atelier Bessemer; elles fabriquent aussi des fers puddlés; les établissements des frères Marrel ne pratiquent pas encore la fusion de l'acier et sont tributaires des usines voisines pour les lingots destinés à certains produits.

Les laminoirs à blindages des usines des Etaings et de Saint-Chamond, les trains à tôles de Saint-Chamond, de Terrenoire, de Saint-Étienne, sont munis des derniers perfectionnements; les laminoirs à bandages à cylindres horizontaux de Saint-Chamond ont été reproduits à Saint-Étienne; à Firminy, au contraire, les bandages sont laminés horizontalement. Les pilons de 25 tonnes de Firminy et de Rive-de-Gier viennent d'être brusquement dépassés par le marteau de 100 tonnes de Saint-Chamond.

Déjà les presses hydrauliques sont en usage pour le cintrage des blindages; à l'usine des Etaings, récemment créée, on fait les gabariages à l'aide de deux presses, l'une de 1.200 tonnes, l'autre de 2.800 tonnes. Dans les ateliers Brunon, à Rive-de-Gier, on utilise même une presse pour le matriçage et l'emboutissage de certaines pièces de forge.

Pour la production de la fonte, les Aciéries de la Marine ont toujours en feu leurs hauts-fourneaux de Givors, voisins de ceux de MM. de La Rochette. Les hauts-fourneaux de Terrenoire marchent en fonte Bessemer ou en fonte Martin, et produisent aussi des fontes manganésées dont la teneur en manganèse varie de 10 à

40 p. 100 ; bien que leur volume soit inférieur à 100 mètres cubes, leur production atteint 50 tonnes par vingt-quatre heures, dans la marche en fonte d'affinage. Tandis qu'à Terrenoire on a substitué aux appareils en fonte à chauffer le vent des appareils Siemens-Cowper, on a adopté pour le haut-fourneau de Firminy, installé en 1873, des appareils Whitwell.

Les usines de Saint-Chamond, de Terrenoire, de Firminy, fabriquent les rails, les cornières, les profilés ; les Aciéries de Saint-Étienne, les Établissements Marrel font les tôles de fer et les blindages ; les tôles d'acier sortent de Saint-Chamond et de Terrenoire, et cette dernière usine fabrique déjà couramment les pièces en acier moulé. Les trains de Saint-Chamond, de Saint-Étienne et de Firminy permettent d'obtenir des bandages d'acier puddlé ou d'acier fondu, ainsi que ces frettes de canon qui ont été, pour la première fois, obtenues dans la Loire, et déjà, en 1878, le nombre des bandages livrés par Saint-Chamond depuis 1851 dépasse 900.000.

A côté des fabrications à gros tonnage, les fabrications spéciales prennent aussi un rapide développement. Les ressorts, les essieux montés, les arbres droits et coudés, les pièces forgées de toutes sortes constituent des débouchés pour les métaux d'excellente qualité qu'élaborent toutes les usines de la région. La fabrication des canons, celle des blindages, sont déjà très importantes à Saint-Chamond, à Rive-de-Gier ; elles vont se développer bien davantage avec les énormes outils qu'on vient d'installer ou qui sont encore en construction. Déjà, en 1878, Saint-Chamond produit des lingots d'acier de 40 tonnes pour canons de 34 centimètres ; la même usine produit couramment des blindages d'acier de $4^m,20$ de long sur $1^m,42$ de large et $0^m,557$ d'épaisseur dont le poids dépasse 26 tonnes ; elle livre également à la Marine des blindages à section trapézoïdale de plus de 25 tonnes.

V

PÉRIODE DE 1880 A L'ÉPOQUE ACTUELLE.

Crise de 1880. — Les nouvelles fabrications. — Ce développement si remarquable de l'industrie métallurgique dans la Loire, dans la période de 1860 à 1880, subit un temps d'arrêt après l'Exposition de 1878. La série d'années prospères que viennent de traverser les forges et les aciéries du Centre de la France a naturellement amené les industriels à créer de nouvelles usines pour répondre aux demandes que les anciennes semblent insuffisantes à satisfaire ; au voisinage de la mer, à Isbergues, à Denain, on a bâti de grandes usines à acier, qui, alimentées par des minerais de Bilbao, produisent des aciers Bessemer dans des conditions économiques beaucoup plus favorables que celles qui règlent le prix de revient dans la région de Saint-Étienne.

De plus, la fabrication des rails en acier a donné aux Compagnies de Chemins de fer un élément qui est alors pour ainsi dire inusable ; loin de s'accroître, comme dans les années précédentes, les quantités de rails demandés annuellement à l'industrie métallurgique se réduisent de plus en plus et sont insuffisantes pour les nouveaux convertisseurs récemment installés. Les usines de la Loire, où le prix de revient des minerais de Mokta dépasse de beaucoup celui des minerais de Bilbao importés dans le Nord, sont surtout atteintes par la baisse des prix qui résulte de la diminution de la demande. Atténuée d'abord de 1881 à 1883, par les nombreuses commandes qui résultent du programme des grands travaux qu'on se propose d'exécuter, la crise s'accentue de plus en plus par suite des offres qu'apporte sur le marché la surproduction résultant de l'établissement des nouvelles usines et de l'agrandissement des anciennes.

A la même époque, l'application en grand du procédé Thomas Gilchrist vient apporter une véritable révolution dans l'industrie du fer et de l'acier. On fabrique des aciers Bessemer avec les fontes riches en phosphore que donnent des minerais phosphoreux et pauvres, considérés jusqu'alors comme à peu près inutilisables. Les bas prix qu'obtiennent immédiatement les usines de l'Est de la France obligent les usines de Terrenoire, de Firminy, de Saint-Étienne, de Saint-Chamond, à renoncer à la fabrication des rails. Pour la Loire, c'est une diminution brusque de plus de 60.000 tonnes dans la production annuelle ; il faut en même temps réduire la production des fers marchands de qualité ordinaire. La plupart des hauts-fourneaux sont mis hors feu ; toutes les installations Bessemer s'arrêtent l'une après l'autre : la première créée en France, celle de l'usine d'Assailly, à Lorette, a duré seulement vingt-deux ans.

Pour ne pas fermer complètement leurs ateliers, les usines sont dans la nécessité de chercher de nouvelles fabrications ; elles s'efforcent d'utiliser l'habileté de leur personnel à la fabrication de produits spéciaux, qui ne peuvent être que difficilement atteints par la concurrence des Aciéries Thomas ou même par celle encore plus à craindre des usines du Nord. Cette transformation exige un accroissement de l'outillage, marteaux-pilons, tours, machines-outils de toutes sortes, destinés au façonnage et au finissage des blindages, canons, obus, bandages, arbres coudés, moulages d'acier, dont on développe de plus en plus la fabrication. Presque toutes les Sociétés métallurgiques ont eu la prudence d'accumuler des réserves importantes qui leur permettent d'immobiliser immédiatement de grands capitaux ; Saint-Chamond, Firminy, Saint-Étienne, souffrent de cette longue crise de 1880 à 1885 ; mais elles peuvent aborder de nouvelles fabrications, se créer des débouchés nouveaux. Seule, la

Société de Terrenoire, qui n'a pas eu la prudence des Sociétés voisines, se voit acculée à une déplorable situation financière, et, en 1888, cette usine qui, de 1870 à 1880, a produit des travaux si remarquables, doit arrêter ses opérations.

Pour les autres usines, au contraire, la crise est le point de départ d'une série de créations et de transformations. C'est ainsi que M. A. de Montgolfier, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui, depuis 1874, a pris la direction de la *Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer*, à la suite de Pétin et Gaudet, décide, dès 1880, de transporter les fabrications de la fonte, des rails et des profilés dans un nouvel établissement mieux placé au point de vue économique. La nouvelle forge est établie au Boucau, à l'embouchure de l'Adour, près Bayonne, et elle peut recevoir dans les conditions les plus favorables, les minerais de Bilbao et les charbons anglais; elle est en même temps très bien placée pour l'expédition des produits destinés à l'exportation. C'est là un exemple que ne tarderont pas à suivre presque toutes les grandes usines du Centre; le Creusot, les forges de Commentry, prennent bientôt des participations importantes dans les usines de l'Est; plus tard même le Creusot n'hésite pas à projeter auprès de Cette, sur la Méditerranée, un nouvel établissement, destiné à la fabrication des fontes pures avec les minerais importés de la Toscane et de la côte Est d'Espagne.

Parmi les industries métallurgiques qui, à partir de 1880, prennent une très grande extension dans la Loire, il convient de citer celle des moulages d'acier et surtout la fabrication du matériel de guerre que toutes les usines, sans exception, vont alors aborder.

A l'origine, les aciéries de Firminy se livrent particulièrement à la difficile fabrication des pièces d'acier

moulé ; elles créent un atelier spécial muni d'une grue de 60 tonnes avec fosses de moulage et étuves de grandes dimensions. Des installations analogues sont faites à Saint-Étienne et permettent d'aborder la fabrication de pièces moulées de 20, 30 et même 35 tonnes ; l'usine de Saint-Chamond établit des engins encore beaucoup plus puissants, qui lui permettent de couler et de manœuvrer facilement des lingots et des pièces pouvant atteindre 120 tonnes. Des ateliers de moulage pour petites pièces sont installés à Unieux, à Assailly.

On livre couramment à l'industrie des moulages de tous poids et de toutes dimensions : bâtis de machines, étraves, étambots, surbaux, cadres de gouvernails, cylindres et pistons à vapeur, roues de wagonnets, engrenages, hélices, etc... Comme pièces remarquables, on peut citer les roues de locomotives, les cylindres de presses hydrauliques étanches sous les pressions les plus élevées. A l'Exposition de Lyon, en 1894, figurent le piston à vapeur du *Lazare-Carnot* (Firminy), le bâti de machine du *Masséna* (Firminy), l'ossature du gouvernail du *Bouvines* (Saint-Étienne). Les éprouvettes découpées dans les pièces recuites donnent des résistances qui atteignent 52 kilogrammes par millimètre carré pour un allongement de 21 p. 100 mesuré sur 100 millimètres.

Pour les petits moulages, les usines de Firminy et de Saint-Étienne installent spécialement des petits fours de 2 à 3 tonnes, du type Biedermann et Harvey, qui permettent d'obtenir des aciers très chauds et très fluides. Les moulages d'acier au creuset sortent surtout des aciéries d'Unieux, de Firminy, d'Assailly. L'usine Jacob Holtzer semble avoir le privilège de fabriquer des aciers extra-doux ; on peut, entre autres pièces, signaler des ancres pour la Marine dont la tige subit le ployage à froid sans manifester aucune gerçure.

C'est également à partir de 1880 que Firminy introduit

dans la Loire une fabrication nouvelle en installant un train-machine et un atelier de tréfilerie. Après des débuts assez difficiles, cette nouvelle fabrication devient aussi importante que rémunératrice, et elle ne cesse pas alors de progresser; la production annuelle des fers-machines et des fils d'acier atteint actuellement près de 2.000 tonnes. On fabrique la corde de piano, les fils d'acier pour câbles de mines; suivant l'usage auxquels ils sont destinés leur résistance à la rupture peut être seulement de 60 kilogrammes, ou bien atteindre 180 kilogrammes par millimètre carré.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler qu'il y eut autrefois une tentative de fabrication des fils dans la Loire. En 1820, une tréfilerie d'acier et de cuivre avait été établie à Saint-Étienne : 80 filières produisaient par semaine 250 kilogrammes de fils d'acier dont le prix variait de 6 à 8 francs le kilogramme. L'entreprise fit d'ailleurs de mauvaises affaires et fut arrêtée en 1823.

Les aciers spéciaux. — Le cubilot Rollet. — Les usines de la région se transforment surtout en vue des fabrications spéciales destinées à la Guerre et à la Marine; on renonce aux produits de qualité courante, pour s'appliquer à peu près exclusivement aux produits chers qui exigent pour leur fabrication des soins tout particuliers et des métaux d'une qualité exceptionnelle. On trouve difficilement des matières premières pour ces aciers spéciaux, pour ces fers fins dont la Loire se fait une spécialité; aussi dès son apparition, en 1885, le procédé d'épuration des fontes, imaginé par Rollet, reçoit le meilleur accueil.

C'est par le concours de l'usine de Saint-Chamond que Rollet est mis à même d'appliquer en premier lieu son procédé; il n'a d'abord en vue que la désulfuration des fontes destinées à être déphosphorées par le procédé

Thomas; la désulfuration est parfaite, mais le prix de revient est élevé. La fonte fondue, accumulée dans la partie inférieure du cubilot, se recarbure et reprend le phosphore qu'elle a en partie abandonné. D'après le conseil de A. Brustlein, Rollet essaye alors de laisser couler la fonte fondue d'une manière continue, et c'est à Unieux que le premier essai dans ce sens, tenté avec un cubilot ordinaire, donne des résultats très rassurants. La Société Jacob Holtzer et Cie, et plus tard les usines de Firminy et celles de Saint-Chamond, traitent alors avec Rollet pour l'application du procédé; à Firminy, où l'on dispose du vent chaud du haut-fourneau, on peut marcher en premier lieu d'une manière tout à fait pratique. Ce n'est que dans ces conditions d'un écoulement continu, que la déphosphoration peut s'effectuer en même temps que la désulfuration.

Pour les produits extra-purs, on pratique même au cubilot deux opérations successives. Une fusion réductive a d'abord pour but de désulfurer; une seconde fusion en présence d'oxyde de fer élimine le phosphore dans une scorie ferreuse. Grâce à l'habileté des ingénieurs qui la dirigent, cette difficile opération de la déphosphoration au cubilot s'effectue sans difficulté, et la fonte obtenue contient moins de 2 dix-millièmes de soufre et de phosphore.

On obtient ainsi des fontes qui peuvent être directement employées dans la fabrication de l'acier au creuset; par suite de leur faible teneur en carbone, le puddlage en est d'abord difficile, elles fondent mal et s'affinent trop vite; mais bientôt, par des additions convenables, on arrive à produire avec elles du fer à grain aussi bien que du fer à nerf, on obtient même sans difficulté des aciers puddlés. Ce sont là des métaux équivalents aux meilleurs fers de Suède qu'ils remplacent avantageusement dans la fusion au creuset.

Même à l'époque actuelle, le cubilot Rollet est le meilleur appareil de désulfuration, et, si son usage ne s'est pas répandu dans un plus grand nombre d'usines, c'est que le prix assez élevé de la fusion ne permet de traiter par ce procédé que des fontes destinées à la fabrication de produits extra-purs.

Quelle que soit leur pureté, les aciers au carbone n'offrent plus des propriétés mécaniques dont on puisse se contenter. On s'engage dans la voie indiquée depuis 1875 par les aciéries d'Unieux et qui a abouti à des résultats si remarquables, avec la fabrication des aciers chromés; le chrome, le nickel interviennent de plus en plus dans les métaux destinés au matériel de guerre. Les essais d'Annapolis (Amérique), en 1891, où les plaques Schneider, du Creusot, en acier au nickel, montrent leur supériorité sur les plaques mixtes Cammel-Wilson, ont pour résultat le développement de la fabrication des plaques en acier fondu et l'intervention de plus en plus grande du nickel dans les canons et les blindages.

A la suite des recherches entreprises, en 1890, par Grobot, directeur des usines d'Assailly, sur les aciers nickel-chrome, les Forges et Aciéries de la Marine produisent également en 1891, sous le nom d'*acier spécial*, des plaques au chrome et au nickel qui donnent, surtout au point de vue de leur ténacité, des résultats remarquables dans les tirs exécutés au polygone d'Ochta (Russie) et à l'ile de Texel (Hollande). Ce nouveau métal présente une résistance à la pénétration de 20 p. 100 supérieure à celle de l'acier fondu jusque-là employé, et il entre immédiatement dans la fabrication courante des blindages. Quand il est à l'état naturel, sa résistance à la rupture est de 60 kilogrammes pour une limite élastique de 41 kilogrammes, et un allongement de 23 p. 100; après trempe suivie de recuit, la limite élastique s'élève à 58 kilogrammes, et la résistance à 75 kilogrammes,

bien que l'allongement ne s'abaisse pas au-dessous de 19 p. 100.

Pour les additions qu'exige la coulée des gros lingots destinés aux canons et aux blindages, on ne peut plus se contenter de produire des ferrochromes au creuset ; les Aciéries de la Marine installent alors dans leurs usines du Boucau la fabrication des ferrochromes au cubilot et peuvent ainsi obtenir des alliages tenant plus de 65 p. 100 de chrome, dans lesquels la proportion de carbone atteint 12 p. 100. Dès 1889, ces usines exposent une série de ferrochromes dont les compositions sont indiquées ci-après (teneurs p. 100) :

Chrome	Fer	Carbone	Silicium	Manganèse
44,80	45,00	8,50	0,40	0,40
51,10	39,10	8,75	0,32	0,40
55,65	34,20	9,10	0,56	0,35
57,96	30,35	9,38	0,45	0,50
60,35	28,10	9,55	0,60	0,45
63,10	25,38	10,05	0,40	0,42
65,20	21,90	11,80	0,38	0,38

La teneur moyenne, en soufre, est seulement de 0,01 p. 100 ; la teneur moyenne en phosphore de 0,06.

En dehors des aciers au chrome, au nickel, au tungstène, qui ont déjà reçu de nombreuses applications, les Aciéries d'Unieux créent une fabrication spéciale pour ressorts en acier au silicium et au manganèse ; elles obtiennent de plus, notamment avec le cuivre, des aciers qui n'ont pas encore trouvé d'utilisation dans l'industrie.

Résultats d'essais sur les aciers au nickel. — Aux Aciéries de Saint-Étienne de nombreux essais sont faits sur les aciers au nickel pour suivre les variations des propriétés mécaniques des métaux lorsque la composition varie d'une manière continue. Il n'est pas sans intérêt

de mentionner ici les résultats pratiques qui se dégagent des tableaux et des graphiques résumant les essais.

Nous désignerons par :

E, la limite élastique,
R, la résistance à la rupture,
A, l'allongement p. 100 sur 100 millimètres.

1° *Influence de la teneur en nickel.* — Dans les alliages tenant

Carbone	0,08 à 0,10
Manganèse	0,04
Silicium	0,05
Soufre	0 à 0,005
Phosphore	0,02

la présence du nickel en proportion variant de 2,5 p. 100 à 25 p. 100 a pour effet d'augmenter beaucoup la limite élastique et la résistance à la rupture, qui passent par des maxima pour une teneur en nickel de 15 p. 100 environ. Au-delà du maximum, la limite élastique s'abaisse beaucoup plus vite que la résistance à la rupture, et, à partir de la teneur de 24 p. 100, l'allongement augmente très rapidement.

Les chiffres correspondant à la résistance maxima sont :

	E	R	A
Métal recuit	98	120	6,8
Métal trempé	120	126	8,8

Avec le métal à 25 p. 100 de nickel, on a obtenu :

	E	R	A
Métal recuit	54,4	102,4	16,4
Métal trempé	53,9	112,6	17,5

2° *Influence de la teneur en carbone sur les alliages de nickel.* — *a.* — Quand la teneur en carbone varie de 0,1 à 1,00 p. 100 dans les aciers à 2,5 p. 100 de nickel, la limite élastique et la résistance à la rupture croissent constamment ; la résistance à la rupture croît d'ailleurs

plus rapidement que la limite élastique, surtout avant la trempe; l'allongement diminue avec la teneur en carbone.

Les chiffres extrêmes sont:

		E	R	A
Métal à 0,1 p. 100	recuit......	31,2	41,8	30,5
	trempé.....	32,2	44,8	25
Métal à 1,0 p. 100	recuit......	61,9	97,6	10,1
	trempé.....	108,7	130	7,5

Mais les chiffres ainsi obtenus ne sont pas tout à fait comparables; car, tandis que l'acier à 0,1 p. 100 de carbone contient 0,04 p. 100 de manganèse et 0,05 p. 100 de silicium, l'acier à 1 p. 100 contient respectivement 0,09 et 0,12 p. 100 des mêmes éléments.

b. — Dans les alliages tenant 15 p. 100 de nickel, quand la teneur en carbone varie de 0,1 à 1,00 p. 100, la limite élastique et la résistance à la rupture sont maxima pour la teneur en carbone de 0,4 p. 100. L'allongement paraît passer par un minimum pour la teneur de 0,8 p. 100.

Ces propriétés ont lieu pour le métal recuit au rouge cerise, et pour le métal trempé à l'huile au rouge cerise et recuit au rouge sombre.

Les chiffres extrêmes sont:

		E	R	A
Métal à 0,1 p. 100	recuit............	94,6	114,9	10,4
	trempé et recuit...	99,5	119,2	9,2
Métal à 0,4 p. 100	recuit............	108,2	150,3	9,6
	trempé et recuit...	117,1	195	2,8
Métal à 1,0 p. 100	recuit......... ...	32,8	56,3	8
	trempé et recuit...	42,7	84	4

Si le chauffage pour la trempe est poussé très lentement, les résultats sont notablement différents, et, dans ce cas, le maximum de résistance (153 kilogrammes) et la limite élastique maxima (100 kilogrammes) ont lieu pour une teneur en carbone de 0,8 p. 100.

c. — Dans les alliages tenant 25 p. 100 de nickel, quand la teneur en carbone varie de 0,05 à 1 p. 100, les

autres éléments étant aussi faibles que possible, la résistance et la limite élastique sont maxima dans les aciers les moins carburés, et l'allongement est alors minimum. De 0,35 p. 100 de carbone jusqu'à 1 p. 100, la résistance, la limite élastique et l'allongement varient relativement peu. La trempe modifie peu la limite élastique et l'allongement.

Les chiffres extrêmes sont :

		E	R	A
Métal à 0,05 p. 100	recuit..........	57	104,3	15,8
	trempé.........	56	115	15,2
Métal à 0,83 p. 100	recuit..........	27,9	69,1	40,2
	trempé.........	56,1	65	39,5

Les chiffres obtenus ne sont cependant pas tout à fait comparables, car les teneurs en silicium et en manganèse augmentent avec le carbone et passent respectivement de 0,02 et 0,05 p. 100 dans l'acier à 0,05 p. 100 de carbone, à 0,07 et 0,24 p. 100 dans l'acier à 0,83 p. 100 de carbone.

3° *Influence de la teneur en chrome sur les aciers au nickel.* — *a.* — Dans les aciers à 2,5 p. 100 de nickel, quand la teneur en chrome varie de 0,25 à 2,5 p. 100, la teneur en carbone variant elle-même de 0,08 à 0,50, et la teneur en silicium variant de 0,05 à 0,33, la limite élastique et la résistance à la rupture augmentent dans le métal recuit ; dans les mêmes conditions, l'allongement diminue.

L'augmentation de la résistance et de la limite élastique est rapide avec le métal recuit au rouge cerise et refroidi dans le sable ; elle est beaucoup plus lente avec le métal recuit au rouge cerise et refroidi lentement dans le four. Avec le métal trempé à l'huile et recuit au rouge sombre, l'augmentation est rapide jusqu'à la teneur en chrome de 1 p. 100 ; elle est beaucoup plus lente au-delà de cette teneur.

Les teneurs en carbone, en nickel et en silicium sont malheureusement trop variables pour que les chiffres

obtenus puissent être comparés ; on peut cependant indiquer les résultats obtenus avec un acier tenant :

C = 0,5, Mn = 0,05, Si = 0,33, Ni = 2,28, Cr = 2,80.

	E	R	A
Métal recuit refroidi dans le sable....	138,6	168,9	2,5
Métal recuit refroidi dans le four	56,7	79,5	19,5
Métal trempé à l'huile et recuit au rouge sombre....................	127,4	137,9	7,9

b. — Dans les aciers à 15 p. 100 de nickel, quand la teneur en chrome varie de 0,25 à 2,5 p. 100, les teneurs en carbone et en silicium variant respectivement de 0,23 à 0,47 p. 100 et de 0,10 à 0,24 p. 100, la limite élastique et la résistance à la rupture augmentent rapidement jusque vers la teneur en chrome de 1,25 et diminuent ensuite rapidement. L'allongement varie de 5 à 10 p. 100.

La trempe suivie de recuit a pour effet d'abaisser la limite élastique et la résistance à la rupture ; elle augmente l'allongement.

Pour le maximum de résistance, les chiffres obtenus sont les suivants :

C = 0,25, Mn = 0,05, Si = 0,17, Cr = 1,25, Ni = 15,24.

	E	R	A
Métal recuit au rouge cerise et refroidi dans le sable........................	113	179,8	3
Métal trempé et recuit au rouge sombre...	93,2	135,7	11,3

c. — Dans les aciers à 25 p. 100 de nickel, quand la teneur en chrome varie de 0,25 à 2,5 p. 100, les teneurs en carbone et en silicium variant respectivement de 0,13 à 0,45 p. 100 et de 0,07 à 0,10 p. 100, la limite élastique et la résistance à la rupture présentent les valeurs les plus élevées pour la teneur en chrome de 0,25 p. 100, et les valeurs les plus faibles pour la teneur en chrome de 1 p. 100 environ. De 1 à 2,25 p. 100 de chrome, la limite

élastique et la résistance varient peu ; elles se relèvent assez rapidement à partir de 2,25 p. 100 de chrome.

La trempe modifie peu la limite élastique et la résistance, sauf au voisinage de la teneur de 0,25 de chrome, où elle augmente la valeur de ces éléments.

Pour le maximum et le minimum de résistance, on a obtenu les chiffres suivants :

	Cr	C	Mn	Si	Ni	S	Ph
Métal α.....	0,25	0,13	0,03	0,07	25,53	0,005	0,02
Métal β.....	1,00	0,16	0,05	0,07	25,10	0,005	0,02

		E	R	A
Métal α	recuit.....................	41,7	96,2	19,8
	trempé à l'eau et recuit....	60,2	110,2	17
Métal β	recuit.....................	23,4	57,9	42,2
	trempé à l'eau et recuit....	23,4	58,5	42

4° *Influence de la teneur en silicium.* — Par suite des variations de la teneur en carbone et en manganèse qui accompagnent les variations de la teneur en silicium, il est difficile de dégager l'influence du silicium. Il semble cependant résulter des essais que la limite élastique et la résistance à la rupture augmentent rapidement avec la teneur en silicium ; l'augmentation est d'ailleurs beaucoup plus grande dans le métal trempé et recuit que dans le métal simplement recuit.

On constate que, entre les teneurs de 1 et de 4,50 p. 100 en silicium, la limite élastique et la résistance à la rupture sont sensiblement les mêmes, qu'il s'agisse d'acier sans nickel ou d'acier à 2,5 p. 100 de nickel, dans le métal simplement recuit ; au contraire, dans le métal trempé, l'addition de nickel a pour effet de beaucoup augmenter ces mêmes facteurs.

Les chiffres extrêmes obtenus sont, d'ailleurs, les suivants :

Avec l'acier sans nickel :

	Si	C	Mn	S	Ph
Métal α......	0,90	0,25	0,26	0,005	0,03
Métal β......	4,45	0,72	0,81	0,015	0,065

		E	R	A
Métal α	recuit.............	32,5	56,6	24
	trempé et recuit....	57,6	79,1	17,5
Métal β	recuit.............	104,9	117,3	1,0
	trempé et recuit....	143,4	150,2	1,5

Avec l'acier à 2,5 p. 100 de nickel :

	Si	C	Mn	S	Ph
Métal α.......	0,90	0,23	0,31	0,005	0,03
Métal β.......	3,96	0,66	0,68	0,015	0,06

		E	R	A
Métal α	recuit..............	49,6	67,5	19,7
	trempé et recuit.....	77,5	101,5	10,9
Métal β	recuit..............	98,2	110,5	7,5
	trempé et recuit.....	157,1	163,4	4,5

Les résultats ainsi obtenus aux Aciéries de Saint-Étienne forment un ensemble d'indications extrêmement précieux pour tous les métallurgistes auxquels ils peuvent éviter de longs tâtonnements. Ils s'appliquent à des aciers industriels, et ils sont en cela plus utiles que ceux récemment publiés par la Commission nommée par la Société d'Encouragement de Berlin, en 1892, qui ne concernent encore que les alliages de *fer pur* et de *nickel pur.*

Il est certainement regrettable que les températures de trempe et de recuit n'aient pas été précisées à l'aide de mesures pyrométriques exactes, et que la composition microchimique des aciers n'ait pas été indiquée ; mais, avant 1893, bien peu d'usines sont outillées pour la détermination précise des températures et pour les observations micrographiques. Ce n'est qu'un peu plus tard que les Aciéries de Saint-Étienne procèdent scientifiquement aux opérations de la trempe et du recuit, par l'installation

de pyromètres permettant d'opérer juste à la température voulue.

Les hauts-fourneaux. — Le creuset en graphite et le creuset d'acier. — Pour fournir aux aciéries les produits spéciaux qui leur sont nécessaires, les hauts-fourneaux de la région abordent la production des fontes spéciales les plus variées : ferromanganèses, spiegels, fontes siliceuses, silico-spiegels. Les briques réfractaires de l'ouvrage et du creuset, ainsi exposées à très haute température à l'action de laitiers ultrabasiques, se corrodent rapidement, et il en résulte des percées graves qui entraînent des arrêts longs et coûteux.

La première, l'usine de Terrenoire, résout d'une manière satisfaisante le difficile problème de la suppression des percées, en réalisant un creuset et un ouvrage en graphite que les Américains imitent bientôt, et qui est maintenant d'un usage courant dans les usines des États-Unis.

Plus tard, les forges de Firminy, en se basant sur le principe des fours de fusion américains dits *water-jackets* appliquent une autre solution plus élégante et beaucoup plus radicale. On supprime tout revêtement en briques, et Boivin, chef du service du haut-fourneau à l'usine de Firminy, réalise un creuset en voussoirs d'acier énergiquement refroidis par aspersion d'eau sur leur face extérieure, qui oppose aux laitiers corrosifs des garnissages de même composition naturellement formés par le refroidissement. Malgré les changements d'allure les plus fréquents, qu'on marche en ferromanganèse, en silico-spiegel ou simplement en fonte d'affinage, les percées sont complètement supprimées, et le creuset Boivin, en usage à Firminy depuis 1890, est actuellement appliqué dans plusieurs forges de la Pologne et du bassin du Donetz.

Parmi les utilisations nouvelles réalisées dans la Loire à propos de la fabrication de la fonte, il convient encore

de signaler l'emploi au haut-fourneau des pyrites grillées, déjà utilisées en Angleterre sous le nom de *purple ore*. C'est par Terrenoire que cette heureuse application des résidus de fabrication de l'acide sulfurique est faite pour la première fois en France. Cette usine assure ainsi l'alimentation de ses hauts-fourneaux par un minerai très riche qu'elle se procure dans des conditions exceptionnelles de bon marché. Si la Compagnie de Terrenoire n'avait pas dû alors cesser ses opérations, la hausse, qui survenait quelques mois après l'arrêt, aurait peut-être pu permettre à l'une des plus grandes et des plus anciennes usines de la Loire de sortir victorieuse de la longue crise à laquelle elle a succombé.

Les aciers au creuset. — Les projectiles de rupture. — Depuis 1880, la production des aciers au creuset augmente dans une notable proportion ; elle atteint, en 1890, près de 10.000 tonnes, alors que la production totale en France ne dépasse pas 13.000 tonnes. Les principales aciéries sont celles d'Unieux, de Firminy, d'Assailly, du Chambon, de la Bérardière, de Rive-de-Gier (Marrel frères). On y fabrique les aciers pour outils au carbone, au chrome, au tungstène, à divers degrés de dureté. Les aciers fondus doux soudables, les aciers pour outils de forge, ressorts, faulx, scies, coutellerie, lames de cisailles, matrices, bouterolles, etc., y sont produits couramment en même temps que les aciers plus durs pour fleurets, burins, barres à mines, masses, etc. Des qualités spéciales au carbone et au chrome sont livrées pour la fabrication des limes, et les aciers extra-durs au chrome ou au tungstène sont utilisés pour les outils de tours pour fonte blanche et laminoirs trempés, pour le travail des bandages en acier dur et pour l'usinage des métaux de dureté tout à fait exceptionnelle.

Les matières premières sont des fers au bois, des fers de Suède des meilleures marques, des fers puddlés obtenus

avec des fontes fines souvent mazées au cubilot Rollet.

Parmi les applications des aciers spéciaux fabriqués au creuset, la plus heureuse est celle qui est faite aux projectiles de rupture. Grâce aux progrès réalisés dans cette fabrication, grâce à une trempe énergique, les obus au tungstène fabriqués à Assailly par le commandant Bouchard et les projectiles chromés des aciéries d'Unieux traversent à Gavres, en restant entiers, les plaques en fer forgé, même sous des incidences obliques. Les succès obtenus en France sont d'ailleurs confirmés aux essais effectués en Italie, en Russie et en Amérique ; les obus chromés Holtzer traversent sans se rompre, tant les blindages en acier fondu que les plaques mixtes ou compound anglaises. Enfin c'est grâce encore aux recherches des aciéries d'Unieux que notre artillerie est en droit, dès aujourd'hui, de considérer comme résolu pour elle le problème consistant à traverser soit en tir normal, soit en tir oblique, les plaques nouvelles à face cémentée et trempée, genre Harvey, avec des projectiles restant entiers.

Les aciers au creuset reçoivent encore bien d'autres applications dans notre matériel de guerre. Assailly, Unieux, Firminy ont des qualités spéciales pour canons de fusils, pour armes blanches. L'organisation des fours à creusets permet aussi d'aborder la fabrication de bouches à feu d'assez gros calibre ; des canons de 65 à 160 millimètres sont fournis à la Guerre et à la Marine ; les tôles et plaques en acier chromé ou en acier nickel-chrome sont encore appliquées comme plastrons de cuirasses, masques et abris sur les navires.

Sauf dans des aciéries sans importance qui possèdent encore quelques fours à vent au coke ou à l'anthracite, les fours à creuset sont partout des fours Siemens à flamme en travers. Par four, le nombre des creusets est de vingt ou de trente : pour les aciers durs on emploie quelquefois des creusets de graphite, la fusion des aciers doux se fait

exclusivement aux creusets d'argile; la charge d'un creuset est généralement de 25 kilogrammes.

Les fours à cémenter n'ont subi aucun perfectionnement depuis l'origine: à Unieux, au Chambon, à Assailly, à la Bérardière, ils ont conservé la forme extérieure caractéristique qu'affectaient les appareils métallurgiques au siècle dernier. Outre les produits destinés à la fusion au creuset, ils servent aussi à la fabrication des aciers durs corroyés qui sont encore demandés dans le commerce.

L'acier Martin. — L'augmentation relative dans la production de l'acier Martin est moins rapide que dans l'industrie de l'acier au creuset, mais certaines usines, malgré une réduction dans leur tonnage, voient leur chiffre d'affaires notablement augmenter. En 1885, on produit encore 6.000 tonnes de rails avec des lingots Martin; mais c'est là une fabrication qui disparaît bientôt et qu'on ne retrouve plus ensuite qu'accidentellement. Les fabrications spéciales augmentent cependant dans une proportion telle qu'il n'y a pas diminution dans la production totale accusée.

Toutes les grandes usines de la Loire produisent l'acier fondu Martin, soit sur sole acide, soit sur sole basique, par le procédé aux riblons. Les matières premières pour le matériel de guerre sont toujours des fontes et des fers de première qualité, fontes de Suède, de Givors, de Chasse, de Firminy, de l'Ardèche, du Boucau. Les riblons, pour les produits soignés, sont des déchets d'usine de composition bien connue, des fers puddlés spécialement produits pour cet usage. On obtient toutes les variétés d'acier, depuis les aciers extra-doux présentant une résistance de 35 à 40 kilogrammes avec un allongement de 30 à 35 p. 100, jusqu'aux aciers extra-durs, dont la résistance atteint 90 et 100 kilogrammes avec un allongement de 5 à 10 p. 100. Les principales fabrications sont les blin-

dages, les bandages, les tôles, les pièces de forge et les moulages d'acier.

La capacité des fours varie de 10 à 40 tonnes ; les installations les plus puissantes sont à l'usine de Saint-Chamond, qui possède quatre fours de 40 tonnes et trois de 15 tonnes, et chez MM. Marrel, dont l'aciérie, terminée seulement en 1888, est munie de quatre fours de 35 tonnes. Des ponts roulants de 150 à 160 tonnes permettent la manœuvre facile des lingots obtenus dont le poids dépasse souvent 100 tonnes.

Le four Pernot est en usage pendant quelque temps à Saint-Étienne et à Saint-Chamond ; celui de Saint-Étienne, installé en 1881 à la place d'un atelier Bessemer, est à son tour remplacé en 1892 par un four Martin-Siemens à sole fixe. Sauf aux usines de Firminy, de Saint-Chamond et de Terrenoire, l'installation des fours Martin est d'ailleurs assez récente ; ce n'est qu'en 1875 que la maison Marrel, restée jusque-là tributaire des aciéries voisines pour ses approvisionnements de lingots, installe un premier four Martin ; de la même époque date le premier four des aciéries Claudinon, au Chambon, et, aux Aciéries de Saint-Étienne, le premier four Martin est mis en feu seulement en 1885.

Les installations de coulée ne sont pas conçues principalement en vue d'une production intensive et économique ; on se propose avant tout de couler les lingots de toutes dimensions et de tous poids qu'exigent les fabrications spéciales, et surtout la fabrication du matériel de guerre. La coulée directe au four dans les lingotières, *la coulée à la pique*, est cependant encore en usage dans de rares ateliers, mais presque partout on coule préalablement en poches que manœuvrent des grues ou des ponts roulants.

Toutes les usines possèdent de grandes fosses de coulée desservies généralement par des ponts roulants ; on peut ainsi rassembler le métal produit par deux, trois ou

quatre fours. A Saint-Chamond, la fosse, entre deux rangées de fours, permet de couler des lingots allant jusqu'à 120 tonnes. Pour les lingots de dimensions ordinaires, les dispositions sont très variables; tantôt la poche de coulée mobile sur un chariot vient circuler sur une fosse rectiligne parallèle à l'axe du four (Assailly); tantôt la poche portée par une grue hydraulique distribue le métal dans une fosse circulaire (Saint-Chamond).

Aux aciéries de Saint-Étienne, les lingotières portées sur des plaques tournantes mues par l'eau sous pression ou par l'électricité viennent passer sous la poche portée par un pont roulant; à Firminy la coulée s'effectue sur des vagonnets formant un train rectiligne qu'on manœuvre à l'aide d'un cabestan.

Presque partout les gazogènes sont du genre Siemens et sont munis d'un siphon où se condensent la plus grande partie des goudrons. Cependant, surtout pour les moulages d'acier, on installe des fours Biedermann et Harvey à gazogène accolé au four; on ne cherche pas, d'ailleurs, à gazéifier le combustible par les produits brûlés comme dans le four type; la grille du gazogène est simplement soufflée par un injecteur à vapeur qui produit l'entraînement de l'air, et les gaz obtenus, riches en hydrogène et en oxyde de carbone, donnent dans le four des températures notablement supérieures à celles qu'on peut réaliser dans le four Siemens ordinaire.

Les fours d'installation récente ont leurs chambres, en grande partie, au-dessus du sol: tel est le cas à Assailly, à Unieux, à l'usine des Étaings. Partout ailleurs, les récupérateurs sont presque entièrement enterrés, et la coulée en poche ne peut avoir lieu que si celle-ci est elle-même dans une fosse au-dessous du sol.

Le métal soudé. — Bien que l'importance de la fabrication du métal soudé diminue de jour en jour, toutes les

usines de la Loire possèdent encore des fours à puddler, fours ordinaires simples, avec ou sans sole de réchauffage et fours à puddlage d'acier. Les chaudières placées à la suite sont généralement des chaudières verticales ; cependant, comme au Creusot, on reconnaît là aussi l'avantage des chaudières multitubulaires qui commencent à se substituer aux autres. A l'usine d'Assailly, on trouve des fours à gaz avec épurateurs du système de Langlade.

On ne pratique que le puddlage pour acier et le puddlage bouillant pour fer d'excellente qualité ; on ne produit pas seulement le fer brut destiné à la fabrication des tôles ou des fers marchands, la plupart des fours travaillent pour fer destiné à la fusion soit au creuset, soit sur la sole des fours Martin. Pour répondre aux demandes du commerce, Unieux, Firminy, le Chambon et un grand nombre de petites forges installées sur l'Ondaine, le Furens et le Gier font encore de l'étirage au martinet.

Une des spécialités importantes des aciéries de la région est la fabrication des tôles de fer pour chaudières, dont les seules Aciéries de Saint-Étienne produisent annuellement environ 8.000 tonnes.

Le travail mécanique du fer et de l'acier. — La presse à forger ; les laminoirs à blindages. — Les dimensions chaque jour croissantes des pièces de forge et surtout des canons et des blindages demandent des installations mécaniques de plus en plus puissantes. L'usine de Firminy, qui, depuis 1880, a entrepris la fabrication des projectiles et des canons pour la Marine, installe, en 1888, un marteau-pilon de 40 tonnes avec grue de 60 tonnes. La même année, les Aciéries de Saint-Étienne montent un pilon de 50 tonnes.

Les plus gros marteaux-pilons sont à l'usine des Étaings et à l'usine de Saint-Chamond. Celle-ci possède déjà depuis 1880 un énorme marteau de 100 tonnes, muni de grues de 150 tonnes, installé dans l'atelier de grosse forge

où se trouve encore un pilon de 15 tonnes. A cette époque, MM. Marrel n'ont encore qu'un pilon de 25 tonnes, qui, depuis 1855, fonctionne à l'usine de Rive-de-Gier et qui a forgé, en 1867, l'arbre à trois coudes du *Suffren*. En 1885, on commence aux Étaings un groupe de halles destinées à recevoir les nouveaux marteaux qu'on se propose de monter ; un premier pilon de 50 tonnes, desservi par deux grues à col de cygne de 90 tonnes, précède de quelques années seulement un pilon de 100 tonnes et de 6 mètres de chute, dont la construction est décidée en 1889 et dont la mise en marche a lieu au commencement de 1892; pour résister au choc, la chabotte ne pèse pas moins de 760 tonnes. Cet outil est desservi par deux grues à col de cygne, dont l'une possède une puissance de 180 tonnes, et par un pont roulant de 120 tonnes.

Mais, tandis que la masse frappante des pilons atteint des proportions si colossales, on reprend l'idée de la presse à forger dont l'emploi a été réalisé pour la première fois en 1861 par Haswell, et dont Withworth a su tirer, en Angleterre, un si bon parti. Les progrès faits par les fonderies d'acier de 1880 à 1890 permettent d'obtenir des pots de presses suffisamment solides pour résister aux énormes pressions reconnues nécessaires, et les excellents résultats qu'on obtient avec le nouvel outil le font bientôt entrer dans la pratique pour la fabrication du matériel de guerre. Le nombre des chaudes nécessaires diminue, le forgeage sur mandrin, le gabariage des blindages sont réalisés beaucoup plus facilement qu'au pilon. L'usine d'Unieux est la première qui, dans la région, applique la presse au forgeage: on y établit, en 1892, une presse à forger qui peut donner des pressions de 2.000 tonnes. Cet exemple est bientôt suivi : en 1892, l'outillage de la grosse forge des usines de Saint-Chamond est complété par l'installation d'une presse hydraulique à forger de 4.000 tonnes, desservie par deux ponts roulants

de 150 tonnes, qui permet d'assurer le forgeage des blindages de 0m,50 aussi bien que la préparation des corps ou des tubes de canons pesant 40 à 50 tonnes.

C'est en 1892 également que MM. Marrel, pour faire face aux exigences toujours grandissantes de la fabrication des blindages, remplacent le grand train de laminoirs installé aux Étaings en 1867 par un autre plus puissant, spécialement destiné au laminage des blindages d'acier. Le nouveau train, qui est d'abord le plus puissant laminoir à blindages existant, permet de laminer des plaques de 3m,20 de largeur entre cylindres verticaux et de prendre des paquets ou des lingots ayant jusqu'à 1m,25 d'épaisseur.

Les Aciéries de la Marine, dont les laminoirs à blindages, installés par Pétin et Gaudet, sont devenus insuffisants pour le laminage des grosses plaques d'acier, installent elles-mêmes, en 1898, un nouveau train réversible à blindages, dont la machine peut développer 6.000 chevaux.

Les appareils de manutention et de manœuvre qui arment ce gros outillage sont naturellement proportionnés à l'importance des pièces qu'il s'agit de forger. C'est ainsi qu'à Saint-Chamond, la grande halle de 80 mètres de long et de 30 mètres de large, où est installée la grosse presse à forger, est desservie par deux ponts roulants de 150 tonnes, dont le chemin de roulement est placé suffisamment haut pour que les ponts puissent passer par-dessus la presse. L'ensemble de ce grand atelier de forgeage présente ainsi des conditions aussi bonnes que possible pour l'exécution des grosses pièces que réclament maintenant la Marine et la Guerre.

A côté de ces énormes outils, toutes les usines de la Loire possèdent d'ailleurs des ateliers pour la forge et le laminage des pièces ordinaires nécessaires à l'industrie. Les anciens laminoirs à rails ont été transformés en laminoirs à fers marchands; les Aciéries de Saint-Étienne,

spécialement outillées pour le laminage des grosses et moyennes tôles, possèdent un train réversible par embrayage et un trio Lauth qui peut laminer des tôles de 2^{m},80 de largeur.

Comme force motrice, l'électricité tend à se substituer de plus en plus aux transmissions télédynamiques, aux petites machines à vapeur et même à l'eau sous pression. Presque tous les ponts roulants sont maintenant mus à l'électricité, qui actionne également des grues fixes et des grues mobiles à trolley. Aux Aciéries de Saint-Étienne, les laminoirs sont desservis par des tenailles hydrauliques suspendues à des grues qui permettent l'enfournement et le défournement rapide des paquets ou des lingots à laminer.

La trempe, le finissage et le montage. — Cet accroissement si rapide de l'outillage pour le travail mécanique de l'acier est accompagné d'une augmentation correspondante dans les appareils de trempe et dans les outils pour le finissage des blindages et des éléments de canons. Pour la trempe des canons, le chauffage vertical, substitué au chauffage horizontal, nécessite de nouvelles installations, qui sont bientôt réalisées à Saint-Étienne, à Saint-Chamond, chez MM. Marrel et à Unieux.

A l'usine d'Unieux, l'atelier de trempe permet de tremper verticalement des pièces de 11 de mètres de longueur; enterré de 2 mètres seulement, il est installé dans une tour de 30 mètres de haut, qui contient le four à chalumeaux au gaz et la bâche de trempe; la plate-forme de manœuvre est à 10 mètres au-dessus du sol. A Saint-Chamond, le four vertical de 21 mètres de hauteur, entièrement au-dessous du sol, occupe l'extrémité d'une grande fosse au fond de laquelle se trouvent les bâches de trempe, dont la partie inférieure est ainsi à 43 mètres au-dessous du sol. Cette installation gigantesque est des-

servie par un pont roulant de 150 tonnes, qui permet d'atteindre des vitesses d'immersion de plus de 30 mètres à la minute.

En 1898, les aciéries de Saint-Étienne refont de toutes pièces leur installation pour la trempe verticale des canons. La nouvelle solution, intermédiaire entre celles adoptées par Saint-Chamond et par Unieux, n'entraîne d'ailleurs que des frais de premier établissement relativement minimes. Le four vertical, de 20 mètres de hauteur, est immédiatement voisin des fosses de trempes formées par des puits s'enfonçant au-dessous du sol; l'ensemble est surmonté d'un cadre horizontal, simplement porté par quatre colonnes tubulaires en tôle, et sur lequel se meut un petit pont roulant, uniquement destiné à supporter les pièces à tremper pendant le chauffage et pendant l'immersion.

La nouvelle installation est munie de couples thermo-électriques Le Chatelier, permettant de déterminer très exactement la température par le réglage des chalumeaux à gaz. On arrive ainsi à avoir une température rigoureusement uniforme dans toute la longueur de la pièce à chauffer, et comme, d'autre part, on fixe par des observations micrographiques exécutées sur la pièce à tremper quelle est la température de trempe qu'il convient d'appliquer, cette délicate opération de la trempe se fait pour ainsi dire scientifiquement et dans des conditions de précision et de sûreté qui suppriment presque entièrement les pièces manquées. C'est un grand honneur pour les ingénieurs des Aciéries de Saint-Étienne d'avoir ainsi réalisé pour la première fois dans la Loire l'application, à la mesure de la température des fours, des pyromètres électriques installés à poste fixe et dont les indications sont contrôlées dans le bureau même de l'ingénieur chargé du service.

Comme complément indispensable de la fabrication des

blindages, les usines de Saint-Chamond installent deux presses à gabarier de 3.000 et de 3.500 tonnes; à l'usine des Etaings on monte une presse de 4.000 tonnes. En même temps l'on agrandit les ateliers de trempe pour les blindages en acier homogène.

A peine ces installations sont-elles terminées que paraissent les plaques en acier cémenté par le procédé Harvey. Les Aciéries de la Marine, MM. Marrel, les Aciéries de Saint-Étienne traitent immédiatement avec l'inventeur, et, dès 1894, des fours à cémenter et des appareils de trempe spéciaux sont établis à Saint-Chamond et à l'usine des Étaings pour la fabrication délicate des plaques harveyées.

Pour le finissage des grosses pièces, il faut aussi créer de nouveaux ateliers, où l'on installe des machines-outils permettant de tourner et de forer les tubes de canon et les arbres de navires, de raboter et de mortaiser les blindages dont l'épaisseur dépasse $0^{m},40$. En 1893, Saint-Chamond termine un grand atelier de 32 mètres de portée et de 120 mètres de long spécialement pour le montage des tourelles cuirassées; cet atelier ne tarde pas à devenir insuffisant, et, en 1898, on met en train un nouvel atelier beaucoup plus important encore, dont la construction n'est pas encore terminée. A l'usine des Étaings une halle de 110 mètres de long sur 30 mètres de large contient les outils pour le tournage et le finissage des éléments de canons, des frettes et des projectiles. Un important atelier de tournage et de finissage est également commencé aux Aciéries de Saint-Étienne en 1897; chaque machine-outil y est commmandée directement par un électromoteur.

L'usine de Saint-Chamond est seule outillée pour la fabrication complète des pièces d'artillerie de campagne, des pièces de siège ou de marine, avec les affûts, le matériel divers et les munitions correspondantes. Elle peut

livrer complètement terminées des tourelles tournantes ou à éclipse, des tourelles oscillantes du commandant Mougin et, d'une manière générale, tous les appareils utilisés pour la protection des places de guerre et des navires cuirassés.

A côté de ces ateliers spécialement destinés à la fabrication du matériel de guerre, se développent des ateliers plus modestes pour les fabrications telles que ressorts de wagons et de locomotives, ressorts de carrosserie, bandages. essieux montés, enclumes et bigornes, outils pour l'industrie, instruments d'agriculture, lames de papeterie, etc. Firminy, Unieux, un grand nombre de petites forges des environs de Saint-Étienne conservent des martinets pour la fabrication des socs de charrue; les forges de Rive-de-Gier développent leurs ateliers de matriçage et d'emboutissage pour la fabrication des roues, des essieux et des pièces embouties de toutes sortes. Au voisinage d'Unieux, à Pont-Salomon, de nombreux martinets d'étirage et de platinage sont utilisés à la production des faulx et faucilles.

Résultats obtenus de 1880 jusqu'à l'époque actuelle. — Déjà, avant 1850, Pétin et Gaudet forgeaient des canons; un peu plus tard ils forgent des blindages, mais ils ne prévoient probablement pas encore le développement que va prendre dans la Loire la fabrication du matériel de guerre. C'est surtout après 1880, que la métallurgie se transforme en vue de ces fabrications spéciales qui nécessitent des fers et aciers extrêmement purs et un outillage de plus en plus puissant. L'impossibilité de continuer la fabrication des rails et profilés oblige les usines de la Loire à s'attacher à peu près exclusivement aux produits spéciaux et délicats; et, pour le maintien d'un certain tonnage de produits marchands, il faut la création d'ateliers de moulage d'acier et d'ateliers de transformation

qui permettent de livrer au commerce des fils d'acier, des ressorts, des essieux, etc.

Le métal fondu se substitue au métal soudé à peu près pour tous les usages; cependant les tôles en métal soudé se fabriquent encore couramment aux Aciéries de Saint-Étienne. Les fours à puddler produisent surtout des fers et des aciers destinés à la fusion au creuset. Toutes les installations Bessemer disparaissent; le métal fondu est obtenu soit au creuset, soit au four à sole par le procédé aux riblons.

Des études suivies mettent en évidence les propriétés des aciers spéciaux et établissent des relations entre les propriétés mécaniques et la composition chimique. La docimasie et les essais mécaniques interviennent de plus en plus dans les opérations métallurgiques; les laboratoires et les méthodes d'essai se perfectionnent; les recherches d'Osmond sur la constitution moléculaire des aciers, faites par l'observation au microscope de plaques polies, sont suivies et complétées par des études faites au Creusot et aux Aciéries de Saint-Etienne. Pour la production des nouveaux métaux, il faut des dosages à la fois précis et rapides. La méthode de Wiborgh, modifiée au laboratoire des Aciéries d'Unieux, est appliquée au dosage du carbone; la teneur en soufre s'obtient par le procédé Osmond-Rollet. Les machines d'essais à la traction se multiplient; quelques-unes fournissent directement des diagrammes montrant la relation entre la charge et l'allongement.

Le travail mécanique des bouches à feu et des blindages nécessite l'installation de marteaux-pilons puissants et de presses qui tendent à se substituer au marteau non seulement pour le gabariage, mais aussi pour le forgeage. Les plus gros outils de la Loire sont deux marteaux-pilons de 100 tonnes, deux presses de 4.000 tonnes, et les nouveaux laminoirs à blindages de Saint-Chamond et de l'usine des Étaings.

	1880		1885		1890		1895	
	LOIRE	FRANCE	LOIRE	FRANCE	LOIRE	FRANCE	LOIRE	FRANCE
Fonte................	60.988	1.725.293	26.546	1.630.648	21.196	1.962.196	19.917	2.003.900
Fers.................	76.841	965.751	43.677	782.431	36.963	808.724	27.850	756.800
Acier Bessemer...........	99.718	359.921	1.000	404.019	»	354.194	»	399.100
Acier Martin.............			32.996	123.829	38.127	193.187	45.600	291.700
Acier puddlé.............	9.603	18.604	3.565	11.746	3.202	16.382	2.152	6.700
Acier cémenté............	1.163	2.137	6.052	6.948	641	1.301	588	1.300
Acier fondu au creuset....	5.682	7.777	5.106	7.297	9.903	13.377	7.140	11.000
Réchauffage de lingots ou vieil acier.............	»	455	4.540	»	5.398	3.557	5.514	6.871
Total des aciers.....	116.325	388.894	53.259	553.839	57.271	581.998	60.994	716.671

Pour l'ensemble des usines, les statistiques officielles du service des mines indiquent les chiffres de production du tableau de la page précédente.

Les principales usines métallurgiques sont à Saint-Chamond, Rive-de-Gier, Assailly, Saint-Étienne, Firminy.

La **Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de fer** possède des établissements à Saint-Chamond, à Assailly, à Rive-de-Gier, à Givors, au Boucau. Elle occupe dans la Loire 5.000 à 6.000 ouvriers, dont 3.000 à 3.500 à Saint-Chamond, et la puissance de ses machines motrices est de 10.000 chevaux-vapeur, dont 6.000 à l'usine de Saint-Chamond. Le chiffre d'affaires dépasse 30 millions.

Les Usines de Saint-Chamond comprennent une grande aciérie Martin-Siemens avec sept fours de 15 à 40 tonnes, un atelier de puddlage, des ateliers de tours et de laminage, une grande et une petite tôlerie, un atelier de grosse forge avec marteau-pilon de 100 tonnes et presse à forger de 4.000 tonnes, des ateliers de trempe, de finissage, de montage pour les tourelles cuirassées, avec presses de 3.000 et de 3.500 tonnes.

Les principales fabrications comprennent les grosses pièces de forge, les bandages, les moulages d'acier, les tôles et surtout le matériel de guerre : bouches à feu de tous calibres pour l'artillerie de terre et pour la Marine, affûts, obus, tourelles et coupoles cuirassées, blindages de toute épaisseur en acier fondu, plaques en acier spécial au chrome et au nickel, plaques Cammel Wilson, plaques cémentées et trempées d'après le procédé Harvey.

Les Aciéries d'Assailly, près Lorette, possèdent quatre fours Siemens de vingt-quatre creusets chacun, un four Martin, un atelier de puddlage pour acier avec fours à gaz du système de Langlade, cinq fours à cémenter, des

ateliers de forge, de laminage, de moulages, un grand atelier de produits réfractaires.

On y produit surtout des aciers fins pour outils, coutellerie et taillanderie, des aciers pour obus, des moulages d'acier, des tôles fines, tous les types de ressorts, entre autres ceux du type Belleville.

Les Forges de Rive-de-Gier, où ont débuté Pétin et Gaudet, sont formées par deux grands ateliers de forge, dont l'un fabrique surtout les pièces employées dans les constructions navales, arbres coudés, étambots, étraves, ainsi que les essieux de locomotives, et l'autre est réservé à la fabrication des roues forgées et à celle des obus.

La Fonderie de Givors, qui est momentanément arrêtée, est outillée pour la production des fontes et des lingots d'acier. On y voit trois hauts-fourneaux et deux convertisseurs Bessemer.

Les **Établissements Marrel frères** comprennent des usines à Rive-de-Gier et à la Capelette, près Marseille. Les usines de la Loire occupent 1.000 ouvriers aidés par des machines motrices, dont la puissance totale est de 3.200 chevaux. Le chiffre d'affaires varie de 6 à 10 millions.

L'Usine des Étaings, de beaucoup le plus important des établissements Marrel, a été créée spécialement pour la fabrication des tôles, des fers spéciaux et des blindages. Elle comprend une aciérie Martin de quatre fours de 35 tonnes, deux fours Siemens à creusets, un atelier de puddlage, des ateliers de grosse forge avec marteaux-pilons de 50 et de 200 tonnes, des ateliers de laminage pour blindages, tôles et profilés, des ateliers de trempe, de finissage et de montage pour le matériel de guerre, avec presse à gabarier de 4.000 tonnes.

Les principales fabrications sont les blindages en métal mixte ou en acier, les plaques Harvey, les canons et les

projectiles, les tôles, les profilés, les ancres pour la Marine, etc...

L'Usine de Rive-de-Gier comprend simplement un atelier de forge et un atelier pour le finissage des obus, des tubes et des frettes de canons. On y produit des arbres coudés ou droits en fer et en acier, des pièces pour quilles, étraves, étambots, gouvernails, etc.

La **Compagnie des Fonderies, Forges et Aciéries de Saint-Étienne** est établie au voisinage de Saint-Étienne ; elle occupe 1.700 ouvriers, dispose de 3.000 chevaux-vapeur et fait un chiffre d'affaires de 10 à 12 millions.

L'Usine du Marais comprend vingt fours à puddler, cinq fours Martin, six laminoirs à tôles pouvant fournir depuis la tôle la plus mince jusqu'aux grosses pièces de blindages, des laminoirs à bandages et à fers marchands, un atelier de moulages d'acier, des ateliers de finissage.

Les fabrications principales sont les tôles de fer et d'acier dont la production atteint 17.000 tonnes, les moulages d'acier, les blindages en acier fondu, les plaques harveyées de moyenne épaisseur, les éléments de canons, les obus, les bandages, les pièces de forge, les réservoirs de torpilles, etc...

La **Société des Aciéries et Forges de Firminy** possède à Firminy des établissements importants qui occcupent 2.200 ouvriers ; les machines motrices ont une puissance de 3.000 chevaux-vapeur. Le chiffre annuel des affaires varie 7 à 12 millions. On y voit un haut-fourneau de 200 mètres cubes, un cubilot Rollet, deux fonderies Martin-Siemens avec huit fours, trois fours Siemens pour la fusion au creuset, un grand atelier de moulages d'acier, un atelier de puddlage avec douze fours, des laminoirs à profilés, un train de serpentage, un important atelier de tréfilerie, un atelier de marteaux-pilons, des laminoirs à

petits blindages, des ateliers pour la fabrication des ressorts, enclumes, essieux de charrettes, etc...

Les fabrications sont très variées : elles comprennent les moulages d'acier, les aciers pour outils, les aciers naturels, les aciers cémentés corroyés, les fers marchands de toutes sortes, les fils pour câbleries, cordes de pianos, télégraphe, etc., les outils d'agriculture, les lames de papeterie, les ressorts de tous les types, les pièces de forge, les enclumes en acier fondu, les étaux et soufflets de forge, les essieux de charrettes, le matériel de guerre et surtout des tubes et frettes de canons, des obus, des bandages, des roues, des réservoirs de torpille, etc...

La **Société Jacob Holtzer et Cie** possède les Aciéries d'Unieux, près Firminy, les hauts-fourneaux de Ria dans les Pyrénées-Orientales et une forte participation dans les usines de Pont-Salomon.

Les Aciéries d'Unieux occupent 1.000 ouvriers avec 1.900 chevaux-vapeur; leur chiffre d'affaires varie de 5 à 8 millions.

Elles comprennent huit fours Siemens de trente creusets chacun, neuf fours à puddler, un cubilot Rollet, douze fours à cémenter, une presse à forger de 2.000 tonnes, des ateliers de marteaux-pilons, six laminoirs à barres et un train à grosses tôles de 2m,70 de longueur de table et de 0m,80 de diamètre, douze marteaux à cames pour étirage de l'acier.

Les fabrications consistent en aciers pour outils de tous genres, aciers pour coutellerie, taillanderie, limes, lames de scies, ressorts de locomotives et de tenders, pièces de machines. On y produit encore des pièces de forge, des aciers moulés, des marteaux et outils de forge, des tubes et frettes de canons, des projectiles de rupture, des tôles et plaques pour plastrons de cuirasses, masques et abris sur les navires, etc...

Les Usines de Pont-Salomon, également près de Firminy, mais dans la Haute-Loire, s'occupent exclusivement de la fabrication des faulx et faucilles dont elles livrent, chaque année, plus de 500.000. Elles occupent environ 300 ouvriers.

De la **Société Claudinon et Cie** dépendent les usines du Chambon-Feugerolles, qui occupent 650 ouvriers avec une force de 100 chevaux-vapeur et dont le chiffre d'affaires s'élève annuellement à 2.500.000 francs.

Les Forges et Aciéries du Chambon-Feugerolles comprennent deux fours Martin, deux fours Siemens à creusets, trois fours à cémenter, huit fours à puddler, des marteaux-pilons, des laminoirs et divers ateliers.

Les principales fabrications sont les aciers de toutes sortes, les enclumes, les outils, le matériel de guerre, caissons, forges, affûts, projectiles et bouches à feu ; les freins de wagons, les pièces d'attelage et de châssis, les essieux de toutes sortes, les moulages d'acier, les ancres, les pelles, socs, versoirs, ressorts, etc.

La **Société Bedel père et fils** possède les forges et aciéries de la Bérardière, à Saint-Étienne, et dans la Côte-d'Or les établissements de Bèze et Rome.

Les Aciéries de la Bérardière comprennent trois grands fours Siemens à creusets, deux fours à puddler pour acier, des ateliers d'étirage au marteau et des laminoirs. Elles livrent au commerce des aciers fondus, des aciers puddlés et des aciers corroyés ; en 1889, la production a atteint 1.900 tonnes, dont 1.050 tonnes d'acier fondu. La force totale utilisée est de 400 chevaux-vapeur.

— En dehors des usines métallurgiques proprement dites, on trouve dans la Loire un grand nombre de forges qui transforment en produits pour l'industrie, des fers et aciers

achetés dans la région. Les principaux maîtres de forges sont MM. Arbel, Déflassieux, Lacombe, Brunon ; leurs usines sont toutes à Rive-de-Gier.

La raison sociale **L. Arbel, ses fils successeurs,** possède *les forges de Couzon*, où travaillent 300 ouvriers. Le chiffre d'affaires s'élève à 3 millions environ.

L'outillage comprend surtout des marteaux-pilons, dont les plus puissants sont de 10, 20, 35 et 40 tonnes. La spécialité principale de la maison est la fabrication des roues de locomotives, de tenders, de vagons, de roues d'affûts de siège et de campagne, de camions. On produit aussi toutes les pièces de forge.

La Société **Déflassieux frères,** dans ses ateliers de Rive-de-Gier, outillés avec de nombreux pilons, dont deux de 20 tonnes, un de 30 tonnes et un de 40 tonnes, a également pour spécialité la fabrication des roues pour tout le matériel des chemins de fer, locomotives, tenders et vagons.

C'est dans cette maison, qui occupe 200 à 400 ouvriers et atteint annuellement un chiffre d'affaires de 2 à 3 millions, que fut inventé et appliqué pour la première fois le procédé de fabrication des roues par soudage et matriçage au pilon.

La raison sociale **A. Lacombe et fils** possède à Rive-de-Gier des ateliers de forge et de finissage, d'où sortent principalement des essieux coudés de locomotive obtenus par matriçage, qui ont contribué dans une bonne mesure à fonder la réputation de la maison. On produit aussi les essieux de vagons, les étraves, étambots et gouvernails, les bielles, manivelles, etc... Les ateliers mettent en œuvre une force motrice de 350 chevaux-vapeur ; le chiffre d'affaires atteint près de 1 million.

Il convient encore de signaler les ateliers **Barthélemy**

Brunon, aussi à Rive-de-Gier, qui, à l'aide de presses et de pilons, fabriquent des roues en fer forgé, des traverses métalliques en acier plat embouti, des pièces tubulaires, et en particulier des enveloppes d'obus à la mélinite. La caractéristique de l'établissement est l'étirage et l'emboutissage à la presse qui est appliqué à presque toutes les fabrications.

Situation industrielle des usines métallurgiques de la Loire. — Lorsqu'on compare les tonnages indiqués dans la Loire pour le fer et pour l'acier, on constate que la production du fer passe par un maximum vers l'année 1872; pour l'acier, le maximum est atteint en 1880. A partir de 1880, au moment où la production totale de l'acier en France augmente de 50 p. 100 en moins de cinq années, les quantités d'acier livrées par les usines de la Loire tombent brusquement à moins de la moitié de ce qu'elles étaient en 1880. Sur le métal soudé la diminution est presque aussi brusque, mais elle est accompagnée par une baisse générale de la production en France.

A partir de 1885, la production de l'acier se relève sensiblement, elle augmente de 10.000 tonnes environ jusqu'en 1895; le relèvement est encore beaucoup plus notable depuis cette époque. La comparaison avec l'année 1880 est cependant loin d'être favorable à l'époque actuelle; l'ensemble de la production fer et acier est, en 1895, de 89.000 tonnes environ; il était supérieur à 193.000 tonnes en 1880. La diminution dans le chiffre total de la production est donc ainsi supérieure à 100.000 tonnes: et cependant les usines de la région de Saint-Étienne traversent actuellement une ère de prospérité où les résultats pratiques, c'est-à-dire finalement les bénéfices réalisés, sont supérieurs à ceux précédemment obtenus, même dans les années des plus grosses productions (Pl. X, XI et XII).

C'est que le parallèle, qu'on peut établir entre les années actuelles et les années antérieures à 1885, ne doit pas être basé sur les chiffres qu'indiquent les statistiques pour les produits livrés à l'industrie; de même, le parallèle entre la production en tonnes dans la Loire et la production des autres régions métallurgiques de la France ne peut donner qu'une idée inexacte de l'activité industrielle et de l'importance de la métallurgie dans les usines du Centre; ce n'est pas tant les tonnages que la valeur des produits fabriqués qu'il est important de comparer.

Les fabrications spéciales et délicates de la Loire, par suite du soin qui est apporté dans le travail et par suite du choix des matières premières, sont des produits chers dont le prix, rarement inférieur à 300 francs la tonne, s'élève souvent à plus de 300 francs les 100 kilogrammes; pour certaines usines, le prix moyen de vente de la production totale dépasse 1 franc le kilogramme. On conçoit que, dans ces conditions, avec une production relativement faible, les Sociétés métallurgiques puissent réaliser un chiffre d'affaires considérable, qui, en année moyenne, doit certainement dépasser 80 millions de francs.

La situation industrielle des usines de la Loire est donc en fait maintenant excellente, mais l'avenir de la région n'est pas seulement défendu par les fabrications spéciales que les aciéries livrent à l'industrie et surtout à la Guerre, à la Marine et aux Chemins de fer. La solidité des affaires métallurgiques résulte surtout de la prudence qu'ont montrée toutes les Sociétés actuelles dans l'administration de leurs capitaux. Il n'est pas indiscret de rappeler ici, en quelques mots, la situation financière qu'exposent les bilans des Sociétés métallurgiques de Saint-Chamond, de Saint-Étienne et de Firminy.

— A la Société des Aciéries de la Marine, la somme des capitaux immobilisés depuis la création de la Société, en 1871, jusqu'en 1898, dépasse 41 millions, et cependant

les immeubles, les usines, les installations de toutes sortes ne figurent plus à l'actif que pour un peu plus de 3 millions. Trente-huit millions ont été ainsi amortis, et dans ce chiffre figurent les 8 millions consacrés à l'amortissement des forges de l'Adour, créées en 1880. Il n'est pas douteux que, même en supposant les catastrophes les plus invraisemblables, l'actif immobilier de la Société, les usines de Saint-Chamond, d'Assailly, de Givors, de Rive-de-Gier, du Boucau, les forêts de Sardaigne, etc., représentent une valeur réalisable bien supérieure à celle qui figure maintenant au bilan.

Bien que la valeur attribuée aux immobilisations soit aussi faible, l'actif de la Société s'élève cependant à 41 millions, représentés, en dehors des 3 millions de *valeurs immobilisées*, par 26 millions de *valeurs réalisables* et 12 millions de *valeurs disponibles*. Encore ne fait-on figurer que *pour mémoire* la valeur des titres industriels que la Société possède en portefeuille et qui sont loin cependant d'être quantité négligeable. Telle est la situation en juin 1898.

Si l'on met en regard le passif de la Société, on constate qu'en dehors des *créanciers* dont le compte créditeur est de 10 millions et demi, les autres comptes qui figurent au bilan sont : le *capital social* pour 20 millions, les *réserves* pour 4 millions environ, et le compte *profits et pertes* pour 6 millions et demi. Après déduction des sommes effectivement dues, il reste près de 27 millions pour les réserves et le fonds de roulement.

L'année 1897-98 se solde par un bénéfice industriel de près de 7 millions ; cependant les attributions diverses au conseil, aux actionnaires ne s'élèvent pas à 2 millions et demi, et 4 millions et demi viennent ainsi s'adjoindre en une seule année aux amortissements ou aux réserves pour consolider la situation financière. Ces capitaux ne restent pas d'ailleurs inactifs, car une direction sage et

prudente propose immédiatement l'augmentation de l'outillage et la création d'ateliers nouveaux; de nouveaux trains à tôles et à blindages établis d'après les idées les plus modernes sont installés de toutes pièces, et les ateliers de finissage des tourelles cuirassées, déjà si grands, mais devenus cependant insuffisants, voient leur surface plus que doublée par la création de nouvelles halles plus vastes encore que celle où peut actuellement s'effectuer le tournage des tourelles toutes montées.

— La situation financière n'est pas moins bonne pour la Société des Aciéries de Saint-Étienne, au capital de 4 millions seulement. En 1897-98, avec un chiffre d'affaires de 11 millions, elles réalisent un bénéfice industriel de 1 million et demi. Au bilan, les usines ne figurent que pour *mémoire*, et le demi-million de travaux neufs effectués dans l'année est immédiatement amorti. Le compte des valeurs réalisables s'élève à 8 millions et demi; après déduction des sommes effectivement dues il reste un solde disponible de 6 millions pour constituer les réserves et le fonds de roulement. Le paiement des dividendes et les attributions au Conseil n'absorbent d'ailleurs pas même la moitié du bénéfice industriel; par contre, là aussi, on songe à l'établissement de nouveaux trains, on agrandit les ateliers de finissage.

— A la Société des Aciéries de Firminy, les installations nouvelles figurent, il est vrai, dans le bilan de 1897-98 pour des chiffres beaucoup plus modestes; cependant le chiffre des bénéfices est relativement plus considérable encore. Le capital social est de 3 millions, et, bien que les bénéfices dépassent 2 millions, on distribue moins de 1 million aux actionnaires et au Conseil. Le solde des bénéfices est employé à compléter l'amortissement des usines qui ne figurent plus au bilan d'entrée de l'exercice 1898-99 que *pour mémoire*, et à fortifier les réserves qui dépassent cependant déjà 3 millions et demi. Il en résulte

qu'après déduction du passif réel le bilan accuse un fonds de roulement entièrement disponible de près de 8 millions.

— On voit, par ce qui précède, que les usines de la Loire non seulement amortissent rapidement leur outillage, mais encore qu'elles constituent des réserves importantes qui leur permettraient, le cas échéant, de traverser une crise ou de renouveler leur outillage et leur matériel, quelque importantes que puissent être les transformations dans les procédés d'élaboration du fer et de l'acier. Malgré les augmentations chaque jour apportées à l'outillage, malgré des amortissements permettant de faire figurer au bilan la valeur des usines simplement pour *mémoire*, on constate que les trois plus grandes sociétés métallurgiques de la région possèdent un ensemble de réserves dont le total atteint 41 millions pour un capital social de 27 millions seulement.

C'est là en quelque sorte un trésor de guerre qui permet de voir venir sans crainte les mauvais jours; son importance est bien faite aussi pour décourager la concurrence que pourraient provoquer les bénéfices réalisés. Les fabrications spéciales de la Loire resteront longtemps encore indispensables aux nécessités de l'armement; l'énorme outillage qu'elles comportent, l'obligation de disposer d'un personnel technique et ouvrier exceptionnel, rendent bien difficiles leur importation dans d'autres régions, où l'on fabrique à meilleur marché. Si elles ont renoncé à l'espoir de voir revenir les gros tonnages atteints en 1880, les usines de la Loire ont donc presque la certitude de conserver les produits chers, qui leur assurent maintenant un chiffre d'affaires suffisant pour rémunérer les capitaux engagés dans l'industrie métallurgique.

Saint-Étienne, mars 1899.

TABLE DES MATIÈRES.

V. — Période de 1880 à l'époque actuelle.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ESPAGNE EN 1897.

1° PRODUCTION DES CONCESSIONS.

SUBSTANCES MINÉRALES	CONCESSIONS en activité	OUVRIERS			MACHINES A VAPEUR		PRODUCTION	
		Hommes	Femmes	Enfants	Nombre	Force en chevaux	Poids	Valeur sur place
							tonnes	francs
Fer	402	15.895	151	1.371	119	2.359	7.419.768	27.286.637
Fer argentifère	11	164	»	76	»	»	5.559	96.734
Wolfram	1	?	?	?	»	»	10	1.545
Pyrite de fer	7	325	»	50	12	400	100.000	250.000
Ocre	2	?	?	?	»	»	200	4.000
Plomb	421	6.579	120	999	159	6.427	110.469	10.293.057
Plomb argentifère	386	6.683	378	1.020	185	5.014	186.692	18.675.064
Plomb et zinc	1	6	»	2	»	»	40	200
Zinc	74	1.225	159	138	13	211	73.848	1.819.230
Or	4	55	»	»	1	12	450	9.250
Or et argent	»	»	»	»	»	»	2.006	40.116
Argent	6	285	»	11	7	289	982	508.984
Cuivre	276	7.340	184	886	74	3.119	2.179.670	10.804.076
Etain	5	109	5	10	4	260	2.378	28.974
Mercure	26	1.874	2	149	10	300	32.378	6.642.215
Antimoine	5	93	»	4	»	»	354	33.590
Cobalt	2	12	2	5	»	»	13	17.000
Manganèse	24	696	352	169	5	43	100.566	681.251
Sel commun	86	1.794	112	266	15	118	508.605	5.796.462
Substances salines	8	17	2	»	»	»	429	12.245
Sulfate de baryte	1	1	»	1	»	»	1	10
Alun	15	26	9	7	»	»	400	10.232
Spath-fluor	1	1	»	»	»	»	2	180
Soufre	10	285	»	156	3	24	18.845	162.938
Phosphore	5	14	»	»	»	»	2.084	83.360
Kaolin	4	26	4	»	»	»	6.294	33.585
Stéatite	10	32	1	5	»	»	3.601	106.704
Topaze	1	3	»	»	»	»	kilogr. 44	3.755
Houille	655	11.709	917	2.217	121	4.194	2.010.960	17.048.179
Lignite	47	508	21	93	6	64	54.232	270.133
Anthracite	3	56	11	39	3	105	8.758	78.725
Roches asphaltiques	4	28	»	4	»	»	1.656	16.562
	2.503	55.841	2.430	7.684	737	22.939	....	100.844.993

2° PRODUCTION DES USINES.

SUBSTANCES	PRODUCTION		NOMBRE des usines en activité	MACHINES EN ACTIVITÉ				OUVRIERS			MATIÈRES ÉLABORÉES
	Poids	Valeur à pied-d'œuvre		Hydrauliques		A vapeur		Hommes	Femmes	Enfants	
				Nombre	Force en chevaux	Nombre	Force en chevaux				
	tonnes	francs									tonnes
Fonte (*)	146.940	11.537.015									
Fer	80.894	15.950.694	15	24	1.320	313	24.758	7.750	221	742	694.342
Acier	63.007	14.369.651									
Fils de fer et d'acier	3.000	1.080.000									
Plomb	75.112	21.715.934	10	1	6	31	662	1.515	»	159	99.761
Plomb argentifère	91.258	31.560.545	22	»	»	18	350	1.170	»	151	217.112
Argent fin ...... (kilogrammes)	71.168	7.778.180	2	3	36	»	»	30	»	2	294
Or .... (idem)	1	4.000	1	1	15	»	»	2	»	»	100
Cuivre fin	7	7.000									
Cuivre noir	29.652	20.693.623	13	1	15	37	772	3.268	179	313	1.310.598
Mattes de cuivre	18.120	4.836.052									
Zinc en lingots	3.907	2.266.060	1	»	»	13	134	458	7	30	14.822
Zinc laminé	2.337	1.892.970									
Mercure	1.728	7.821.666	6	»	»	4	51	285	3	266	30.339
Sulfure jaune d'arsenic	214	146.280	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Soufre fondu	3.500	350.000	5	?	?	?	?	?	?	?	13.653
Ciment hydraulique	159.439	1.6[illegible]6.010	26	12	170	25	520	450	26	68	353.173
Agglomérés de houille	333.272	6.592.662	11	»	»	9	302	312	12	60	312.176
Coke	755.394	15.837.080	13	»	»	2	11	244	»	5	976.303
Asphalte	1.878	112.662	2	»	»	2	32	22	»	2	1.869
	....	165.978.084	127	42	1.562	454	27.592	15.506	448	1.798	»

(*) Non compris 44.734 tonnes qui ont été totalement transformées en fer et en acier, et dont la valeur aurait fait double emploi avec celle de ces deux métaux.

(*Extrait de la* Estadistica minera de España.)

MÉTHODE GRAPHIQUE

POUR LA RECONNAISSANCE ET LA VÉRIFICATION DU TRACÉ DES VOIES DE CHEMINS DE FER

Par M. DESDOUITS,
Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'État.

L'objet de cette méthode est de relever et d'enregistrer automatiquement au moyen d'opérations simples, rapides et assez précises pour les besoins généraux de la pratique, les éléments d'ordre géométrique qui définissent une voie de chemin de fer : profil en long, devers, tracé en plan, ainsi que les déformations et défectuosités locales.

Appliquée à une ligne en cours de construction ou en achèvement, cette méthode doit permettre de vérifier à toute époque la conformité de l'exécution avec les plans officiels ; de suivre en quelque sorte pas à pas le tassement de la plate-forme et les déformations en plan qui se produisent inévitablement dans certaines parties. Pour un réseau en état d'exploitation courante, elle fournit aux agents du service local le moyen de préciser leurs observations journalières en les contrôlant par une représentation matérielle. L'ensemble des diagrammes relevés périodiquement sur chaque section de voie constituera en quelque sorte un journal graphique dont l'examen doit permettre à l'Ingénieur d'apprécier à première vue l'état général d'entretien et de reconnaître quelles sont les parties pouvant exiger d'une manière plus ou moins urgente un travail de révision. Ce mode de contrôle sûr et rapide semble présenter un intérêt tout particulier pour les

chemins de fer sur routes, qui ont pris depuis quelque temps un grand développement et dont l'état d'entretien doit faire l'objet d'une surveillance attentive.

Il est généralement applicable, avec quelques modifications de détail, à la reconnaissance et à la vérification des routes de terre.

La méthode que nous avons à décrire est fondée sur l'emploi du pendule d'inertie, combiné avec un système de mesures chronométriques. Elle n'exige l'emploi d'aucun véhicule spécial. L'appareil enregistreur, de dimensions portatives, se place sans connexion obligatoire avec les pièces de mouvement, soit sur la machine, soit dans un fourgon ou une voiture d'un train, soit encore sur un lorry de la voie.

Le pendule d'inertie, construit primitivement aux chemins de fer de l'État pour la mesure des efforts de traction, a été décrit dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (livraison n° 6, 1886) et les *Annales des Mines* (8e série, t. VIII, 1885).

Nous rappellerons qu'il consiste essentiellement en une masse pendulaire, roulante ou suspendue, dont la position d'équilibre relatif à l'intérieur d'un système mobile définit la résultante générale des forces extérieures appliquées à ce système. L'écart du pendule est enregistré, au moyen d'un style, sur une bande de papier qui se déroule par l'action d'un rouage d'horlogerie. L'appareil est établi dans une situation invariable par rapport au système dont on étudie le mouvement ; mais, comme on vient de le dire, sans liaison obligatoire avec la machine motrice ou avec les essieux.

L'agencement primitif du pendule, qui consistait en un secteur roulant, a été modifié en vue de constituer un appareil à la fois plus simple et plus robuste, avec un poids et des dimensions aussi faibles que possible. Il a été

ramené à la forme d'un pendule suspendu de longueur modérée, dont le déplacement est amplifié par des leviers, et auquel le degré d'inertie voulu est fourni par l'addition d'un volant actionné par l'intermédiaire d'un pignon et d'une crémaillère ou d'un secteur denté.

Le déroulement du papier comporte deux vitesses différentes, l'une faible, destinée aux opérations de longue durée, l'autre assez grande pour permettre d'obtenir sur une section d'étendue limitée des relevés très précis.

Nous décrirons successivement, avec les détails nécessaires pour en définir le caractère pratique et le degré d'approximation, les opérations relatives :

1° Au relevé du profil en long (rampes, pentes, paliers, à-coups dans la voie);

2° Au tracé en plan et au devers (développement et rayon variable des courbes, surhaussement et déformations transversales).

Notons, dès à présent, que ces deux séries d'opérations peuvent être, si l'on veut, effectuées simultanément au moyen d'un appareil à double pendule avec enregistrement des résultats sur un diagramme unique.

A. — PROFIL EN LONG.

On peut faire usage, pour l'étude du profil en long, soit d'une locomotive isolée, soit de la machine d'un train de service ou d'exploitation, soit d'un véhicule quelconque de l'un de ces trains, soit enfin d'un lorry ou wagonnet poussé à bras ou actionné par un mécanisme à pédale (draisine).

Dans tous les cas, l'exécution et l'interprétation des relevés reposent sur un même principe théorique qui peut être énoncé comme il suit :

L'appareil pendulaire étant disposé parallèlement au plan diamétral de la voie, et celle-ci supposée d'abord en

palier, la position d'équilibre du pendule est, comme on le sait, déterminée à chaque instant par l'action composée de la pesanteur et de l'inertie, cette dernière force égale et contraire à la résultante des efforts extérieurs appliqués au train.

Λ étant la longueur du pendule, y sa déviation mesurée suivant la tangente, w l'accélération du mouvement, on a évidemment :

$$\frac{y}{\Lambda} = \frac{w}{g}.$$

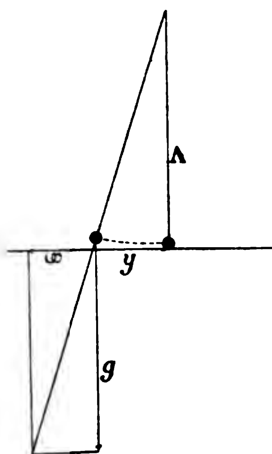


Fig. 1.

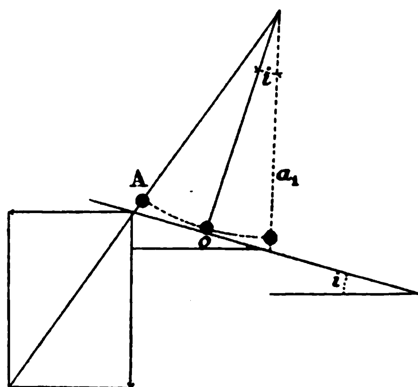


Fig. 2.

Si l'axe de la voie prend une inclinaison i par rapport à l'horizon, le plan de pose de l'appareil subit le même déplacement angulaire : la ligne d'axe du pendule éprouve un déplacement correspondant $\Lambda \times i$; l'ordonnée du diagramme, toujours comptée à partir de l'axe primitif, accusera une accélération apparente qui diffère de l'accélération réelle d'une quantité correspondante au déplacement de la ligne d'axe sous l'action de la déclivité. Si donc, par un procédé quelconque, on a déterminé en même temps

que l'accélération apparente l'accélération effective, la différence des deux mesures (*) fera connaître la quantité dont s'est déplacée la ligne d'axe, en d'autres termes, l'inclinaison de la voie.

La mesure des accélérations réelles s'obtiendra au moyen d'observations chronométriques, en notant, à intervalles rapprochés, les temps employés pour parcourir des espaces de grandeur connue (tours de roues de la machine, longueur des rails, etc.). Soit λ la valeur de l'un de ces intervalles; soient θ_1 et θ_2 deux valeurs consécutives du temps observé; l'accélération w au milieu de la période de temps considérée a pour expression:

$$\frac{\dfrac{\lambda}{\Theta_2} - \dfrac{\lambda}{\Theta_1}}{\dfrac{\Theta_1 + \Theta_2}{2}}.$$

Il peut arriver comme cas particulier que l'accélération ait une valeur constamment nulle, en d'autres termes, que le mouvement soit uniforme. Dans ce cas, l'appareil fonctionne simplement comme un niveau enregistrant; le diagramme fournira directement et sous une forme continue la mesure de la déclivité.

Cette hypothèse, qui comporte évidemment un grand avantage pour la lecture et l'interprétation immédiate des résultats, peut être pratiquement réalisée lorsqu'on fait usage d'un wagonnet poussé à bras. Il est, au contraire, à peu près impossible d'obtenir l'uniformité effective et permanente du mouvement lorsqu'on opère avec une machine

(*) Cet énoncé suppose implicitement qu'il y ait proportionnalité entre les écarts du pendule et les efforts qu'ils doivent mesurer. Cette hypothèse n'est rigoureusement vraie que pour des angles infiniment petits. Dans l'étude qui nous occupe, les valeurs du déplacement angulaire dû soit à l'inertie, soit à l'inclinaison de la voie, seront toujours assez faibles pour que cette hypothèse n'introduise dans les résultats aucune erreur appréciable (Voir p. 479).

circulant sur un profil variable. De là deux formes d'application distinctes de la méthode qui nous occupe :

L'une, employant les machines ou les trains : elle a pour caractères une grande rapidité d'exécution et la faculté d'effectuer d'un seul jet de longs parcours de reconnaissance ou de vérification, mais elle exige l'enregistrement continu des espaces en fonction du temps et l'analyse plus ou moins minutieuse des résultats;

L'autre, d'une exécution moins rapide (puisqu'elle ne comporte que des parcours effectués au pas de l'homme), mais présentant des résultats plus détaillés et susceptibles d'une interprétation plus immédiate; par suite, utile surtout pour le contrôle de l'entretien sur des sections d'une étendue limitée.

a. — OPÉRATIONS FAITES A LA MACHINE. RECONNAISSANCE ET VÉRIFICATION GÉNÉRALE D'UNE SECTION DE LIGNE.

La détermination du profil au moyen d'une machine isolée ou remorquant un train comporte, ainsi que nous venons de le voir, deux ordres de constatations distinctes :

1° La mesure des accélérations apparentes, directement fournie par le pendule d'inertie, placé en un point quelconque du train ;

2° La détermination des accélérations réelles, déduite de la mesure des temps employés à parcourir des espaces de grandeur connue.

Pour cette dernière constatation, on peut opérer par voie d'observation simple en pointant sur l'appareil enregistreur le passage de certains repères (poteaux hectométriques, joints des rails) ou les tours de roues de la machine ; ou bien, par *enregistrement automatique* l'appareil étant alors relié à l'une des pièces du mécanisme ou à un essieu du train.

MICU

Procédé d'observation directe. — Les procédés de simple observation présentent le grand avantage de pouvoir être appliqués indépendamment de toute connexion mécanique : l'observateur se place dans tel véhicule qui lui convient, le pendule étant simplement posé sur le plancher.

L'observation des poteaux hectométriques ordinairement placés le long de la voie serait la manière la plus commode d'opérer ; mais, outre que ces repères n'existent point toujours, notamment sur les lignes de construction récente, leur intervalle est trop grand pour se prêter à une mesure très précise des accélérations ; on n'y aura recours que pour certaines vérifications sommaires.

Le comptage des joints des rails peut se faire par perception acoustique : ordinairement la sensation perçue est bien nette, et on obtient alors, avec la plus grande commodité, d'excellents résultats. Mais il arrive parfois, sans cause bien appréciable, que cette sensation se trouve tout d'un coup amoindrie ou même supprimée — en sorte que l'opération commencée est forcément interrompue. Il est préférable à ce point de vue d'opérer par observation visuelle. Sur une ligne à double voie, il est facile, en se plaçant du côté de l'entrevoie, de compter les éclisses sur la file de rails extérieure de la deuxième voie ; s'il s'agit d'une ligne à voie unique, l'observateur pourra se placer dans la vigie du fourgon de queue et noter le passage des joints des rails à mesure qu'ils apparaissent à l'arrière du train. Quel que soit le mode d'opérer, les points de repère (qu'on peut prendre seulement de deux en deux ou de cinq en cinq rails) seront enregistrés, sur le diagramme même du pendule, au moyen d'un crayon spécial actionné par une transmission à distance (poire pneumatique ou contact électrique).

Le comptage des tours de roues de la machine est une méthode très sûre et que l'on peut rendre commode au moyen d'expédients fort simples : l'observateur étant placé

soit sur la machine elle-même, soit dans le véhicule de tête (*).

Les deux procédés qu'on vient d'indiquer peuvent être appliqués, dans des conditions très satisfaisantes, sur des trains dont la vitesse de marche n'excède pas 45 à 50 kilomètres, c'est-à-dire sur des trains de marchandises et la plupart des trains mixtes. L'application en devient plus délicate, sans cesser pourtant d'être possible, sur les trains à grande vitesse; mais, à cause de l'attention soutenue qu'elle exige, on est obligé de limiter l'opération à des parcours de longueur modérée.

Enregistrement automatique. — L'enregistrement automatique des espaces parcourus en fonction du temps présente évidemment l'avantage de laisser complètement libre l'attention de l'opérateur, tout en fournissant des résultats d'une sûreté et d'une précision absolues. L'opération de reconnaissance devient purement mécanique, et le diagramme obtenu, sur un parcours qui peut être aussi long qu'on le voudra, fournit avec certitude tous les éléments du relevé qu'on a en vue.

L'automaticité de l'enregistrement a pour condition obligatoire une liaison entre l'appareil et le mouvement de la machine ou de l'un des essieux ; il importe que cette liaison soit la plus simple possible et susceptible d'être établie rapidement sur n'importe quel train.

Une solution qui répond très bien à ces désidérata est la suivante : sur la plaque de fondation de l'appareil enregistreur est montée une roue à rochet dont le levier de commande est saillant à l'extérieur et relié au mouve-

(*) Pour n'être pas obligé de se pencher au dehors, il suffira d'attacher un fil élastique entre un point du mouvement extérieur de la machine et un point de la paroi du véhicule où l'on opère : la tension périodique de ce fil permet de compter sans fatigue les tours de roues de la locomotive ; on les inscrit, comme il vient d'être dit, sur l'appareil enregistreur.

ment de la machine : la roue avance d'une dent par va-et-vient du levier. Un bouton monté excentriquement sur le plateau de cette roue commande le mouvement alternatif d'une petite bielle, dont l'extrémité opposée actionne un crayon, mobile suivant l'une des génératrices du cylindre enregistreur. On conçoit aisément que, par la composition de ce mouvement avec le déplacement chronométrique du papier, le crayon trace une courbe sinusoïdale à échelons, dont chaque période correspond à un tour de la roue à rochet, et chaque élément à un tour de roue de la machine (*fig.* 3).

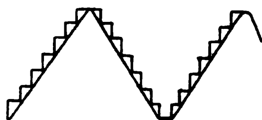


FIG. 3.

Le mouvement du levier de commande du cliquet est obtenu simplement au moyen d'une tringle extensible, dont l'extrémité opposée s'attache sur une des pièces du mouvement (collier d'excentrique, tête de bielle d'accouplement, etc.).

Cette installation extrêmement simple s'applique sans difficultés à de longs parcours et aux plus grandes vitesses ; elle permet d'effectuer automatiquement, et en dehors de tout concours matériel de l'observateur, la reconnaissance d'une ligne entière, sans limitation de parcours ou de durée.

Choix du train de reconnaissance. — L'opération qui nous occupe peut être exécutée soit au moyen d'une machine isolée mise à la disposition de l'opérateur ; soit avec un train de service dont celui-ci est libre encore dans une certaine mesure de diriger la marche ; soit enfin avec un train d'exploitation, dont la conduite est en général soustraite à son intervention. Nous considérerons spécialement ce dernier cas, évidemment le moins avantageux au point de vue des facilités offertes à l'opérateur, mais qui répond au caractère propre de la méthode proposée : celui de ne comporter que des opérations courantes,

susceptibles d'être entreprises à tout moment, rapidement conduites et renouvelées autant qu'il sera utile.

Parmi les trains d'exploitation, on choisira de préférence des trains de marchandises ou mixtes ; la modération de la vitesse ne peut évidemment qu'accroître la commodité et la précision des opérations, surtout lorsque l'enregistrement des espaces se fait par observation directe. Avec l'enregistrement automatique, on peut opérer dans de bonnes conditions, même avec des trains rapides et par suite sur de très grandes longueurs de lignes.

Relevé et interprétation des diagrammes. — Pendant tout le parcours du train, le pendule trace automatiquement, et sans que l'opérateur ait aucune surveillance à exercer sur cette partie de l'opération, une courbe des accélérations apparentes. L'aspect de cette courbe dépend de la manière dont la machine a été conduite. Tant que le mécanicien se tient à un cran d'admission déterminé, le diagramme se présente sous la forme d'un trait sensiblement rectiligne et parallèle à la ligne d'axe. Lorsque le mécanicien vient à changer le cran de marche, ou s'il ferme ou rouvre le régulateur, le diagramme présente un ressaut plus ou moins accusé. C'est là une circonstance qui, sans fausser les résultats, doit en rendre l'analyse un peu plus laborieuse ; et on s'en affranchira autant que possible en recommandant au mécanicien de ne pas changer sans nécessité le degré d'admission.

Indépendamment des variations que l'on vient d'indiquer et qui correspondent à un changement réel de l'accélération, le tracé du diagramme présente parfois, de distance en distance, des ondulations ou des dénivellations plus ou moins accusées.

Ces déformations peuvent provenir de deux causes différentes. Les unes présentent un aspect nettement périodique avec un pas à peu près constant et une

amplitude régulièrement décroissante : elles ne sont que la conséquence d'une oscillation momentanée du pendule, consécutive à un choc accidentel ou à un changement brusque de l'effort ou de la déclivité. On les corrigera aisément par le tracé d'une ligne médiane, en s'aidant au besoin de la construction des lignes enveloppes de la partie du trait ondulée.

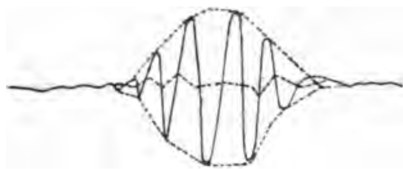


Fig. 4.

D'autres déformations se présentent, au contraire, isolément sur de faibles longueurs, telles que 20 à 30 mètres. Ces perturbations sont l'indice d'irrégularités locales de la voie et constituent un élément accessoire, mais très intéressant, de l'étude qui nous occupe (*).

Détermination de la ligne de zéro. — En principe, la ligne de zéro est déterminée par la position que prend le pendule, lorsque le véhicule porteur repose immobile sur un rail horizontal (**).

L'horizontalité des rails, même dans les parties considérées comme palier, et en particulier dans les gares, n'est ordinairement pas rigoureuse. Sur la longueur d'un même rail, il peut exister des différences d'inclinaison de plusieurs millimètres par mètre.

En conséquence, pour faire une détermination directe de la ligne de zéro, on devra, l'appareil étant monté en

(*) On conçoit aisément qu'une dénivellation de la voie, même très prononcée mais de faible longueur, n'intéressant qu'une partie du train, soit sans influence sensible sur l'accélération générale. Par conséquent le pendule, au moment où cette partie déformée est franchie par le véhicule qui le supporte, fonctionnera comme niveau enregistreur, et la déformation du diagramme accusera nettement la déformation même de la voie.

(**) L'horizontalité du plan de pose de l'appareil lui-même n'est aucunement obligatoire.

place, et avant le départ du train, vérifier exactement avec un niveau à bulle gradué la direction du rail sur lequel repose le véhicule porteur, au milieu de l'intervalle entre les essieux. Si l'on constate une petite différence avec l'horizontalité, cette différence sera notée avec soin. La même opération sera renouvelée, s'il est possible, à des arrêts intermédiaires et après la fin du parcours. Le tracé définitif de la ligne d'axe sera déduit de la moyenne de ces constatations. Plus tard, ce tracé pourra être, ainsi que nous le verrons, contrôlé d'une manière rigoureuse par le calcul même des résultats de l'opération.

Calcul des accélérations effectives. — Le calcul des accélérations réelles au moyen des relevés chronométriques est une opération un peu minutieuse, plus simple toutefois et plus rapide qu'il ne parait au premier abord.

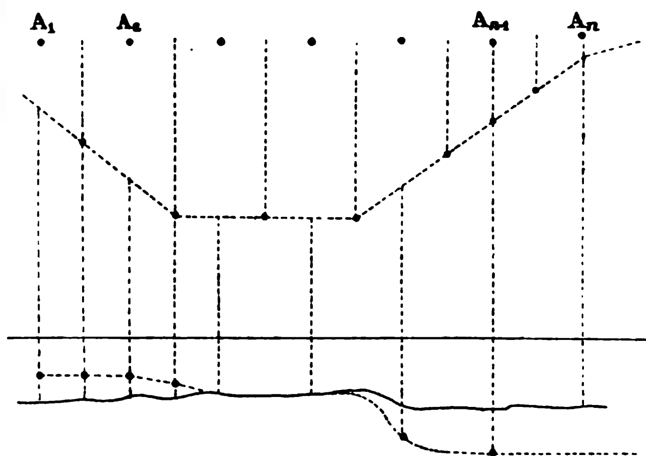


Fig. 5.

Soient A_1, A_2, ..., A_{n-1}, A_n étant les points marqués aux passages successifs des repères, on lira, au moyen d'une règle divisée à l'échelle des temps, les valeurs des intervalles successifs a_1, a_2, ..., a_{n-1}, a_n.

Le tracé des points de repère et la lecture des intervalles de temps comportent nécessairement quelques inexactitudes partielles. En raison de la continuité du mouvement, on pourra avec *certitude* effectuer la correction des valeurs trouvées par le tracé d'une courbe de compensation.

Soient $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ les valeurs corrigées des intervalles de temps ; en divisant par ces chiffres la distance l correspondant à l'intervalle entre 2 repères, on aura les valeurs de la vitesse en mètres(*). Ces valeurs seront portées en ordonnées à une échelle convenue sur le diagramme lui-même, au milieu des intervalles successifs. Les points ainsi obtenus forment par leur ensemble une courbe ou plutôt une ligne mixte qu'on peut décomposer en éléments sensiblement rectilignes.

Tout élément parallèle à l'axe correspond à une accélération nulle ; la correction à apporter au diagramme du pendule se réduit donc à zéro, et l'ordonnée même du diagramme mesure à l'échelle de l'instrument (**) la pente ou la rampe (les rampes étant accusées par les ordonnées positives et les pentes par les ordonnées négatives).

Tout élément assimilable à une portion de droite, inclinée dans le sens des vitesses croissantes, correspond à une accélération positive dont la valeur s'obtient immédiatement en divisant la différence des ordonnées extrêmes par l'intervalle de temps correspondant. Cette valeur, divisée par celle de l'accélération de la pesanteur g, sera portée en déduction de l'ordonnée du pendule et à l'échelle de celui-ci.

(*) On peut même éviter ce calcul au moyen d'une règle graduée spéciale, et lire directement, par la distance entre les repères, les valeurs de la vitesse en mètres.

(**) Cette échelle est de $0^m,001$ pour $\frac{1}{1000}g$; en d'autres termes, 1 millimètre correspond à l'accélération produite par une pente de 1 millimètre par mètre.

Tout élément incliné dans le sens des vitesses décroissantes correspond à une accélération négative qui sera calculée de la même manière et portée en accroissement de l'ordonnée du pendule.

En opérant ainsi de proche en proche, on arrive à substituer au diagramme primitif une ligne endentée composée d'éléments à peu près parallèles à l'axe du tracé et dont les ordonnées positives ou négatives mesurent la rampe ou la pente de la voie en chaque point du parcours : les parties en palier correspondent à une ordonnée nulle, en d'autres termes à la ligne d'axe(*).

Le tracé qu'on vient de définir donne explicitement la solution du problème. On en déduit aisément la représentation du profil sous sa forme conventionnelle, c'est-à-dire avec les distances horizontales prises pour abscisses et les cotes de hauteur portées en ordonnées à une échelle convenue.

(*) On peut, dans l'application de cette méthode, se dispenser du tracé de la courbe des vitesses et passer directement de la mesure des intervalles de temps à celle des accélérations, au moyen du procédé de calcul suivant :

Soient Δ_t, Δ'_t, Δ''_t, les intervalles de temps successifs; la vitesse correspondant à l'intervalle Δ_t est $\frac{\lambda}{\Delta_t}$: l'accélération entre les intervalles Δ_t et Δ'_t est

$$\frac{\frac{\lambda}{\Delta'_t}-\frac{\lambda}{\Delta_t}}{\frac{\Delta_t+\Delta'_t}{2}}=\frac{\lambda(\Delta_t-\Delta'_t)}{\frac{\Delta_t+\Delta'_t}{2}\times\Delta_t\times\Delta'_t},$$

ou, très sensiblement, la variation de vitesse n'étant jamais brusque :

$$\frac{\lambda(\Delta_t-\Delta'_t)}{(\Delta_t)^3}.$$

Il est facile de former un tableau à double entrée qui donnera, pour des valeurs déterminées de l'intervalle Δ_t et de la différence $(\Delta'_t-\Delta_t)$, la valeur correspondante de l'accélération. Cette dernière sera portée directement en correction sur le diagramme du pendule, ainsi qu'il a été expliqué plus haut.

L'application de ce procédé peut être recommandée pour une opération de longue haleine. Toutefois elle donne moins de garantie contre les erreurs de calcul que l'opération graphique indiquée plus haut.

Degré d'approximation des résultats. — Ainsi que nous l'avons fait observer dès le début, la règle consistant à mesurer la déclivité au moyen de la différence entre les valeurs de l'accélération apparente fournies par le pendule, et celles de l'accélération réelle calculées cinématiquement, n'est rigoureuse que dans le cas d'angles infiniment petits.

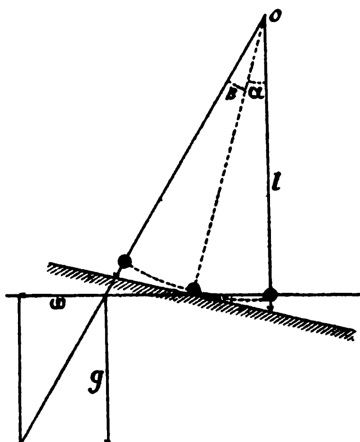


Fig. 6.

Il est facile de reconnaître que l'erreur résultant de cette manière d'opérer est, dans la pratique, tout à fait négligeable. Soit α (*fig.* 6) l'angle d'inclinaison de la voie. La tangente de cet angle $i = \operatorname{tg} \alpha$ est la déclinaison cherchée.

Soit β l'angle d'inclinaison du pendule par rapport à la verticale primitive : l'accélération apparente mesurée par l'ordonnée y est $gy = g \operatorname{tg} \beta$ (la longueur du pendule étant de 1 mètre).

L'accélération réelle est $g \operatorname{tg}(\alpha + \beta)$.

En opérant comme nous l'avons fait, nous avons substitué à la valeur de la déclivité : $\operatorname{tg} \alpha$, la différence

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) - \operatorname{tg} \beta.$$

D'après une formule connue, cette différence peut s'écrire :

$$\operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg}[\alpha + \beta] \operatorname{tg} \beta).$$

L'erreur relative sur la valeur de $\operatorname{tg} \alpha$ est donc

$$\operatorname{tg}(\alpha + \beta) \operatorname{tg} \beta.$$

La valeur de α est au plus égale à 0,04 sur les lignes de chemins de fer les plus accidentées; la valeur de β (qui est le rapport entre l'effort moteur et le poids du train remorqué) ne dépasse pas 2 à 3 p. 100. On voit que l'erreur relative $\operatorname{tg}(\alpha + \beta) \operatorname{tg} \beta$, imputable au mode de calcul adopté, ne représente qu'une fraction très faible, 1 *à* 2 *p*. 100 au maximum, du chiffre de la déclivité.

Examinons maintenant le degré d'approximation des mesures qui ont fourni les valeurs : 1° de l'accélération apparente ; 2° de l'accélération réelle.

Le diagramme tracé par le pendule peut être, d'une manière générale, considéré comme rigoureusement exact, les trépidations du véhicule assurant, malgré le léger frottement des axes et du crayon, une sensibilité absolue (ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte en éloignant, à un moment quelconque, le crayon de sa position d'équilibre, à laquelle on le voit revenir exactement). La compensation des parties ondulées par le tracé d'une ligne moyenne présente elle-même, si on y apporte le soin voulu, une précision irréprochable. En fait, on peut admettre que la lecture des ordonnées du pendule, à partir de la ligne de zéro supposée définitivement arrêtée, se fait avec une approximation de moins de 1/2 millimètre et ordinairement de 1/4 de millimètre.

Le pointage des distances est obtenu d'une manière évidemment rigoureuse, lorsqu'il est réalisé mécaniquement. S'il est effectué par simple observation visuelle ou acoustique, il peut donner lieu à des inexactitudes partielles, mais qui devront toujours se compenser ; il en est de même des erreurs possibles dans la lecture des intervalles repérés. En traçant à une échelle aussi grande qu'on le voudra la courbe de compensation des intervalles de temps mesurés, on arrivera à une rectification irréprochable des résultats.

Le calcul des vitesses partielles d'après les temps cor-

rigés est une opération numérique qui ne comporte aucune incertitude. Il en est de même du calcul des accélérations au moyen des valeurs de la vitesse. La précision du résultat final ne dépend en résumé que de l'intervalle plus ou moins réduit adopté entre les repères. Si on a opéré par longueurs d'environ 25 mètres, le calcul du terme correctif à ajouter à l'ordonnée du pendule se fera avec une approximation au moins égale à celle de cette dernière mesure, soit $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{4}$ de millimètre par mètre.

Vérification de la ligne d'axe. — Tout ce qui précède suppose, bien entendu, la connaissance rigoureuse de la ligne de zéro du pendule.

La méthode que nous avons donnée plus haut permet de déterminer cette ligne avec une approximation suffisante. Mais elle n'est pas toujours d'une application facile. Il sera généralement possible d'y suppléer et d'obtenir une détermination absolument rigoureuse de la ligne d'axe au moyen des résultats mêmes du calcul ; il suffira pour cela de connaître, même d'une manière approchée, les cotes d'altitude, ou seulement la différence d'altitude de deux points compris dans la section dont on opère la reconnaissance. Soit en effet Δ cette différence d'altitude. Le calcul du diagramme, tel que nous l'avons exposé, étant appliqué à une ligne de zéro provisoire, conduit à une valeur Δ' de cette différence. L étant la distance entre les deux points considérés, le quotient $\frac{\Delta - \Delta'}{L}$ donne immédiatement la correction à apporter à la ligne de zéro.

Le plus souvent il existe sur la section de ligne parcourue des points tels que les paliers des gares ou bien des ouvrages d'art dont les cotes de nivellement ont été déterminées antérieurement et n'ont pas pu varier d'une manière

sensible ; on se servira de deux des cotes ainsi connues.

S'il n'existe pas de points dont les cotes d'altitude soient connues, on pourra toujours y suppléer avant ou après l'opération au pendule, au moyen d'un seul coup de niveau donné par exemple à proximité de l'une des gares extrêmes du parcours, entre deux points qui peuvent être assez rapprochés ; la rigueur du procédé de mesure suppléant ici à la longueur de la base.

Applications. — Nous donnons, comme exemple d'application de cette méthode, une opération faite entre les gares de La Taye et Bailleau-le-Pin (kilomètre 97 à 100) de la ligne de Paris à Niort. Cette opération a été renouvelée deux fois en vue de permettre d'apprécier le degré d'exactitude des résultats (Pl. XIII).

Pour l'exécution des relevés (diagrammes I et II), on s'est servi d'une machine à voyageurs, à roues de $2^{m},00$ de diamètre, remorquant un train d'exploitation à une vitesse modérée. Le repérage des espaces se faisait au moyen des tours de roues de la machine, comptés de 4 en 4, soit par intervalles de 25 mètres. Au moyen des intervalles de temps relevés sur les diagrammes et corrigés par le tracé d'une courbe de compensation, on a déterminé successivement les valeurs de la vitesse et celles de l'accélération réelle ; ces dernières divisées par la constante g, et portées, suivant leur sens, en déduction ou en accroissement des ordonnées du pendule, ont fourni le tracé de la courbe des déclivités.

La correction de la ligne de zéro a été obtenue suivant le procédé indiqué plus haut, en se servant des cotes d'altitude de la gare de La Taye et du palier supérieur, fournies par le plan officiel, et qui, en raison des conditions topographiques, n'ont pas pu subir de variation notable.

Enfin le profil en long a été reconstitué sous sa forme

conventionnelle, les distances horizontales étant figurées au $\frac{1}{50.000}$ et les altitudes au $\frac{1}{500}$.

La *fig.* 3 (Pl. XIII) montre les résultats des deux opérations rapprochés par superposition et comparés avec les données du profil officiel.

On reconnaît qu'il y a identité presque complète entre les tracés fournis par les deux opérations graphiques; ces tracés présentent quelques différences d'ailleurs peu importantes avec celui du profil officiel. On constate d'une manière générale que les courts paliers prévus entre les différentes déclivités se sont, en fait, plus ou moins complètement fondus avec ces déclivités : c'est ainsi que la partie de la gare de La Taye qui se trouve aux abords de la rampe cotée 8 millimètres présente elle-même une inclinaison appréciable (1 à 2 millimètres) au lieu d'un palier; la rampe va ensuite en s'accentuant progressivement et atteint seulement à sa partie supérieure l'inclinaison inscrite de 8 millimètres. On remarque encore que la rampe prévue à l'inclinaison de 13 millimètres présente, en réalité, une inclinaison de 14 à 15 millimètres à sa partie inférieure et seulement 12 millimètres à sa partie supérieure. Cette dernière constatation n'est pas sans intérêt au point de vue de la remorque des trains lourds sur la section de ligne considérée. En effet, la rampe qui nous occupe constitue une exception sur la ligne de Paris à Niort dont les déclivités ne dépassent généralement pas 10 millimètres; c'est sur ce dernier chiffre que sont réglées les charges des trains. La rampe dont il s'agit ayant une faible longueur et pouvant être abordée en vitesse, on a la certitude de la franchir même avec le maximum de charge, en raison de ce fait que la déclivité va en diminuant à mesure que l'on approche du palier supérieur. Si le maximum de déclivité, 15 millimètres, se trouvait au contraire vers le haut de la rampe, les conditions seraient beaucoup

moins favorables, et il pourrait suffire d'un coup de patinage ou d'une faible chute de pression à la chaudière pour voir le train s'arrêter avant d'atteindre le palier supérieur.

Cet exemple suffit pour faire comprendre l'intérêt qui s'attache à des vérifications de ce genre, surtout sur les sections qui présentent de fortes déclivités, et qui par suite comportent des difficultés particulières de traction. On reconnaîtra souvent qu'une rampe dont l'inclinaison est censée uniforme présente, par suite de tassement de la voie, des parties où la déclivité excède le maximum prévu et qui doivent être sinon corrigées, tout au moins signalées pour permettre aux mécaniciens des trains à forte charge de concentrer sur ces parties toutes les ressources dont ils disposent.

La vérification des fortes rampes, qui est l'application la plus utile de la méthode que nous venons d'exposer, est en même temps celle qui offre les conditions les plus favorables au point de vue de la facilité et de la précision des mesures. Ces rampes sont toujours franchies par les trains dans le sens de la montée, à une vitesse réduite sensiblement uniforme. Le calcul des accélérations, facile à obtenir avec une grande précision, fournit le terme correctif — de valeur généralement très faible — à ajouter à l'ordonnée du diagramme, qui lui-même se présente sous une forme très régulière.

b. — OPÉRATIONS AU LORRY. VÉRIFICATION DÉTAILLÉE D'UNE SECTION DE LIGNE.

L'emploi d'un lorry poussé à bras présente, ainsi que nous l'avons fait observer, ce caractère particulier que l'uniformité de vitesse se trouve en général assez exactement réalisée par la cadence naturelle du pas de l'homme. Dans ces conditions la correction des accélérations dispa-

rait, et le diagramme du pendule donne immédiatement et sous forme continue les valeurs de la déclivité : le pendule fonctionne simplement comme un niveau enregistrant.

Il peut arriver toutefois que l'uniformité du mouvement de propulsion, admise ici comme hypothèse, se trouve momentanément troublée par une circonstance accidentelle quelconque ; ce fait aurait pour conséquence une perturbation immédiate et souvent importante du diagramme. Pour arriver à un résultat exempt de toute incertitude il faut, ou rendre impossibles les variations accidentelles de la vitesse, ou les contrôler, le cas échéant, et en effectuer la correction.

On arrive à rendre impossibles les variations brusques de la vitesse et les perturbations consécutives du diagramme en adaptant au lorry dont on fait usage un volant (qui peut être lui-même un essieu du lorry) mis en connexion avec le mouvement des roues, au moyen d'un engrenage ou d'une chaîne, et animé d'une grande vitesse de rotation (*).

Ce procédé est d'une application facile; il présente l'avantage de dégager la lecture du diagramme de toute correction éventuelle. Toutefois, comme il suppose l'emploi d'un lorry spécialisé, on peut le considérer comme s'écartant un peu du programme que nous nous sommes fixé.

On arrivera par le seul emploi du pendule, sans aucune installation spéciale du lorry qui le supporte, à un contrôle certain des résultats, au moyen de la simple vérification

---

(*) Si, par exemple, le poids du volant est $\frac{1}{4}$ de celui du lorry et le rapport de multiplication des vitesses égal à 10, l'inertie du véhicule sera accrue dans le rapport : $\frac{1}{4} \times \overline{10}^2 = 25$; en sorte que l'effet d'une variation d'effort qui équivaudrait par exemple à une pente de 10 millimètres ne se traduira que par une perturbation insignifiante et représentant moins de 1/2 millimètre.

des repères de distances (tours de roues) enregistrés sur le diagramme.

Si l'on constate par un examen sommaire — et il en sera ainsi le plus souvent — que les intervalles de temps ne présentent pas de variation brusque sur la longueur entière du parcours, le diagramme du pendule pourra être accepté sans correction. Si, au contraire, sur une étendue ordinairement restreinte, on observe une brusque variation des intervalles entre les repères, la partie correspondante du diagramme (qui présentera elle-même un aspect plus ou moins tourmenté) devra être considérée comme exigeant un calcul de correction (*). Suivant les cas, on substituera simplement à la partie troublée le prolongement du trait régulier qui la précède et qui la suit ; ou bien, pour opérer en toute rigueur, on effectuera par le procédé général et en se servant de la courbe des vitesses, la correction de cette partie du diagramme.

La détermination de la ligne de zéro se fera dans tous les cas comme il a été indiqué pour les opérations exécutées à la machine.

Les relevés faits au lorry, avec ou sans correction des accélérations présentent un degré très grand de précision, à cause de la vitesse de translation réduite et de la faculté d'enregistrer les espaces par intervalles très rapprochés (**).

(*) La pratique montre que les variations de vitesse se produisent surtout à la descente des rampes alors que le lorry doit être non plus poussé mais retenu. Il est facile d'éviter cet inconvénient par l'installation d'un frein de fortune.

(**) Il faut seulement se mettre en garde contre la tendance que pourrait avoir l'une des roues du lorry, principalement dans les courbes, à s'élever un peu sur le rail : d'où une altération du parallélisme au plan de pose de l'appareil et de la voie. A cet effet on évitera d'employer un lorry dont les roues présenteraient un degré notable de conicité.

B. — TRACÉ EN PLAN ET DEVERS.

Principe. — L'appareil pendulaire étant disposé dans un véhicule quelconque à l'intérieur du train, avec son plan d'oscillation perpendiculaire à l'axe de la voie, si celle-ci est en alignement droit et sans devers, la position du pendule doit, pendant la marche, rester invariable sur la ligne de zéro.

Si la voie prend une certaine inclinaison transversale, le pendule est soumis à une composante de la gravité, qui a pour mesure, par unité de poids, le rapport entre le devers (différence de niveau des deux rails) et la largeur de la voie : $\frac{D}{l}$.

Si, d'autre part, le train circule dans une courbe de rayon R, avec une vitesse V, il se développe en sens opposé à l'action du devers (*) une force d'inertie centrifuge, dont la valeur est, par unité de poids : $\frac{V^2}{gR}$.

Soit y l'ordonnée correspondante du pendule, comptée à partir de la ligne de zéro primitive ; λ la longueur effective du pendule, on aura l'équation générale :

$$\frac{D}{l} - \frac{V^2}{gR} = \frac{y}{\lambda}.$$

Si le même parcours a été effectué deux fois avec des vitesses différentes V_1 et V_2, y_1 et y_2 étant les valeurs correspondantes de l'ordonnée, on aura, pour déterminer le devers D et le rayon R, les deux équations :

$$\frac{D}{l} - \frac{V^2_1}{gR} = \frac{y_1}{\lambda},$$
$$\frac{D}{l} - \frac{V^2_2}{gR} = \frac{y_2}{\lambda},$$

(*) La valeur du devers est toujours assez réduite pour que la composante de la gravité dirigée parallèlement au plan de la voie puisse être confondue avec sa projection horizontale.

Si en particulier l'une des deux opérations a été faite avec une vitesse assez faible pour que la valeur du terme $\frac{V^2}{gR}$ soit négligeable, le rayon R se trouve éliminé, et l'équation correspondante donne simplement la valeur du devers :

$$D = \frac{yl}{\lambda}.$$

Les relevés ayant pour objet l'étude du devers et du tracé en plan peuvent être faits concurremment avec ceux qui se rapportent au profil en long ; soit qu'on fasse usage de deux appareils, l'un placé longitudinalement, l'autre transversalement, et inscrivant séparément leurs indications ; soit qu'on dispose d'un appareil pourvu de deux pendules, l'un longitudinal et l'autre transversal, inscrivant avec l'aide d'un renvoi de mouvement leurs indications sur le même tambour.

Ces deux modes d'opérer reviennent en réalité à un seul, la corrélation des résultats étant assurée, dans le cas où on emploie deux appareils, par le synchronisme des mouvements d'horlogerie.

Conduite des opérations. — La méthode qu'on vient de définir comportant essentiellement deux séries de mesures prises à des vitesses différentes, dont l'une assez grande pour provoquer un développement notable de force centrifuge, on est conduit obligatoirement à se servir d'un train ou d'une machine (l'emploi du lorry pouvant donner le *devers*, mais non le rayon des courbes).

Il importe, pour la précision des mesures, qu'il y ait une différence assez grande entre les vitesses des deux parcours. On emploiera utilement un train de marchandises, donnant une vitesse moyenne de 30 à 35 kilomètres à l'heure, et un train de voyageurs marchant à peu près régulièrement à 60 kilomètres.

Sur une ligne à voie unique, les deux parcours pourront être faits indifféremment soit dans le même sens, soit en sens inverse ; sur une ligne à double voie, ils seront nécessairement de même sens pour chacune des deux voies.

L'appareil est placé soit sur la machine, soit dans un véhicule quelconque du train. Le repérage des distances se fait, comme pour la détermination du profil, soit au moyen d'observations directes, soit avec le compteur automatique. Cette opération a d'ailleurs ici un rôle moins important que dans le cas précédent ; elle n'est même rigoureusement nécessaire que dans les parties en courbe en vue de la détermination des vitesses. Pour le reste du parcours on peut se contenter par exemple de noter le passage des poteaux kilométriques, à titre de simples repères. Si on dispose de deux appareils, l'un étant installé sur la machine et fonctionnant avec le compteur automatique, l'autre pourra être disposé commodément à l'intérieur du train et servira à l'observation des efforts transversaux, sans qu'on ait à se préoccuper du repérage des espaces ni de la mesure des vitesses.

Relevé et interprétation des diagrammes. — Tout véhicule dans un train en marche supporte, indépendamment de la composante éventuelle de la gravité due au devers et de la force centrifuge due aux inflexions de la trajectoire, des efforts transversaux : les uns d'une durée inappréciable, mais d'une grande énergie, en d'autres termes des chocs produits à la rencontre brusque des joints de rails, en saillie vers l'intérieur de la voie ; les autres un peu plus prolongés, mais encore momentanés et qui constituent les coups de lacet. Sous l'action des uns et des autres, le véhicule oscille plus ou moins sur ses ressorts. Le pendule, impressionné par ces circonstances diverses, subit lui-même des oscillations plus ou moins complexes ; s'il ne

possède que peu d'inertie (ce qui est le cas d'un pendule suspendu de faible longueur), l'amplitude et la fréquence des oscillations seront telles que, même sur une bonne voie, les efforts durables dont nous nous proposons d'obtenir ici la mesure se trouveront pour ainsi dire noyés dans l'ensemble des perturbations de toute nature (*).

L'adjonction d'un volant conjugué avec le pendule de manière à accroître dans telles proportions qu'on le voudra son inertie, supprime plus ou moins complètement les oscillations parasites et permet de discerner nettement les effets du devers et de la force centrifuge. Il convient d'ailleurs de ne pas pousser trop loin l'accroissement d'inertie pour qu'il n'en résulte pas de retard sensible dans l'action du pendule. On fera usage, par exemple, d'un volant qui porte à 1″ 1/2 ou 2 secondes la durée d'une oscillation simple.

Dans ces conditions, le diagramme présentera encore des ondulations parfois assez étendues. On en déterminera la ligne moyenne suivant la règle générale déjà indiquée, soit au moyen de courbes-enveloppes, soit plus simplement, si les ondulations sont à courte période, en prenant sur chaque élément le milieu de la distance entre les sommets. On obtient ainsi un diagramme moyen qui, suivant les cas, présentera une allure régulière ou accusera encore des ondulations plus ou moins notables; ces dernières correspondent à des *inégalités réelles* dans le *devers* ou plus souvent dans la *courbure de la voie*, et elles se retrouveront, comme on va le voir, identiques à elles-mêmes dans les expériences successives exécutées sur une même section de ligne.

(*) Nous n'avons pas eu à mentionner ce fait dans le cas du pendule disposé longitudinalement. Les efforts accidentels ont en effet une intensité beaucoup moindre dans le sens longitudinal; et même sans adjonction de volant les indications du diagramme ont toujours une netteté suffisante.

Applications. — Nous prendrons comme exemple une section de la ligne de Chartres à Thouars, commençant à la sortie de la gare de Chartres (bifurcation du Mans) et présentant, à partir de son origine, deux courbes consécutives d'assez grand développement et de sens inverse, séparées par un alignement droit de faible longueur. Ces deux courbes ont pour rayons, d'après le plan officiel, 700 mètres et 800 mètres.

Il a été fait sur le parcours considéré trois épreuves successives, la première à vitesse réduite (20 kilomètres), les deux autres à des vitesses plus élevées, sans être très grandes (*) (45 à 55 kilomètres).

L'expérience à faible vitesse est destinée à faire plus spécialement ressortir la valeur du devers ; l'action de la force centrifuge qui intervient comme terme soustractif dans l'ordonnée du diagramme n'est alors qu'une faible fraction $\left(\frac{1}{10} \text{ à } \frac{2}{10}\right)$ de la valeur totale de cette ordonnée.

Dans les parcours exécutés à une vitesse voisine de 50 kilomètres, l'action de la force centrifuge est encore inférieure à celle du devers ; mais elle est une fraction notable de celle-ci, et sa valeur est assez grande pour permettre de calculer avec une précision suffisante le terme $\frac{V^2}{gR}$ de l'équation d'équilibre, et par suite la grandeur du rayon en chaque point considéré ; la valeur de la vitesse étant connue par le pointage des repères de la voie ou des tours de roues de la machine.

On a vu plus haut que deux expériences, à des vitesses différentes, suffisent pour déterminer les valeurs corréla-

(*) L'emploi de vitesses très grandes permettrait en principe de donner encore plus de précision à la mesure du rayon ; mais l'exagération des secousses imprimées au pendule rend alors la traduction des diagrammes sinon moins exacte du moins plus laborieuse. Il convient, pour ce motif de ne pas dépasser dans les essais une vitesse de 50 ou 60 kilomètres au maximum.

tives du devers et du rayon de courbure en tous les points du parcours. La troisième expérience est destinée seulement à fournir une vérification des résultats.

Les *fig.* 1, 2 et 3 (Pl. XIV) reproduisent les diagrammes obtenus dans chacune de ces trois expériences. Sur chacun d'eux les distances sont repérées à partir d'un même point d'origine, qui est le commencement de la première courbe A (le déroulement du papier étant proportionnel au temps, les intervalles correspondant à des distances égales ont des longueurs variables avec la vitesse).

Chacun des trois diagrammes présente l'aspect d'une ligne fortement ondulée, mais dont il est facile, ainsi que nous l'avons dit, de déterminer la direction moyenne par la méthode des enveloppes. Cette opération exécutée, on voit se différencier nettement sur chacun des diagrammes : 1° les parties correspondant à des alignements droits I, H, K qui coïncident à peu près exactement avec la ligne d'axe ; 2° les deux courbes de sens contraire A et B.

Pour obtenir, suivant la règle générale, les valeurs du devers et du rayon de courbure en un point quelconque, on mesurera sur les diagrammes I et II, à l'échelle de l'appareil (*), les valeurs des ordonnées y_1, y_2. Les valeurs correspondantes de la vitesse, déduites également du diagramme étant V_1 et V_2, la résolution des deux équa-

(*) L'échelle du pendule employé pour ces expériences était de 0,2 par $\frac{1}{100}$ du poids. Cette échelle doit être affectée d'une légère correction résultant de ce que, sous l'action de l'effort transversal appliqué au véhicule, la caisse s'incline un peu sur ses ressorts, ce qui augmente l'ordonnée du pendule ; la correction toujours positive est de $\frac{1}{20}$ environ, lorsque l'appareil est placé dans un fourgon, ce qui était le cas des expériences ci-dessus. Pour une voiture à ressorts très flexibles la même correction pourrait atteindre $\frac{1}{10}$; dans le cas d'une machine ou d'un tender, elle est négligeable.

tions

$$D - \frac{V_1^2}{gR} = y_1$$

$$D - \frac{V_2^2}{gR} = y_2$$

donnera les valeurs du devers D et du rayon R au point considéré.

On a par exemple pour le point kilométrique $0^{km},150$:

$$y_1 = 0{,}052.5\ ; \qquad y_2 = 0{,}033\ ;$$
$$V_1 = 5^m{,}5\ ; \qquad V_2 = 12^m{,}0.$$

De ces données on déduit :

$$\frac{D}{l} = 0{,}059, \text{soit pour } 1^m{,}44 \text{ d'écartement } D = 8^{cm}{,}5,$$

et

$$R = 600 \text{ mètres.}$$

En opérant pour le même point avec les diagrammes I et III au lieu de I et II, on trouve pour les valeurs de D et R des chiffres tout à fait concordants. En répétant la double opération sur divers exemples, on reconnait que l'application de cette méthode faite avec les soins voulus donne une approximation d'au moins 5 p. 100.

On remarquera d'ailleurs qu'en général il importe beaucoup moins de mesurer d'une manière continue et rigoureuse le devers ou le rayon d'une courbe, que de constater les variations que peut subir l'une ou l'autre de ces fonctions, et de reconnaître par suite les points de la voie à corriger. Or cette constatation résulte à première vue de l'examen des diagrammes.

Si nous considérons par exemple la courbe A, le diagramme I, obtenu à très faible vitesse, représente très sensiblement la loi du devers ; nous constatons que ce devers est bien régulier de bout en bout ; le raccordement de la partie déversée avec la partie sans devers, aux deux

extrémités de la courbe, se fait également suivant une progression régulière, sur environ 60 mètres à l'entrée et à la sortie.

Les diagrammes II et III, obtenus en vitesse, accusent au contraire par leur forme ondulée des irrégularités très sensibles. Étant donnée la constatation faite sur le devers, ces irrégularités ne peuvent être imputées qu'à des variations du rayon de courbure. On constate d'ailleurs une concordance complète entre les indications des deux diagrammes, étant tenu compte de la vitesse qui est un peu plus grande dans l'expérience n° 2, ce qui a pour effet d'accuser par une dépression plus prononcée les variations du rayon.

On constate par exemple au point kilométrique $0^{km},350$ un brusque affaissement de la ligne moyenne correspondant à un accroissement de la force centrifuge, et par suite à une diminution du rayon de courbure. Le calcul donne pour ce point R = environ 500 mètres au lieu de 700 mètres, valeur moyenne du rayon d'après le plan officiel. Inversement, au point kilométrique $0^{m},650$, l'augmentation de l'ordonnée décèle une diminution de la force centrifuge, par suite d'un aplatissement local de la courbe (le calcul donne R = 780 mètres). En appliquant le même calcul à divers points, on constate que la valeur moyenne du rayon pour la courbe A ne dépasse pas 650 mètres, chiffre inférieur de 7 p. 100 à l'indication du plan officiel. D'autre part, le développement réel de la courbe est un peu inférieur à l'indication du plan.

Contrairement à la courbe A, la courbe B ne présente pas d'irrégularités notables. On constate seulement une légère dépression de l'ordonnée dans la région moyenne, indice d'une courbure un peu accrue dans cette partie, mais sans variation brusque.

Des irrégularités telles que celles de la courbe A et même d'autres plus importantes se rencontrent très fré-

quemment dans les parties de voie plus ou moins fatiguées. La méthode que nous venons d'indiquer, très rapide dans son application, fournit avec toute la netteté désirable la constatation de ces défectuosités locales.

Raccordements à l'entrée et à la sortie des courbes. — Il existe dans la pratique une assez grande variété de règles pour l'exécution des raccordements, en plan et en **profil**, à l'entrée et à la sortie des courbes. Selon la pratique adoptée, le diagramme d'une courbe, supposée régulière, se présentera sous l'une des formes type suivantes :

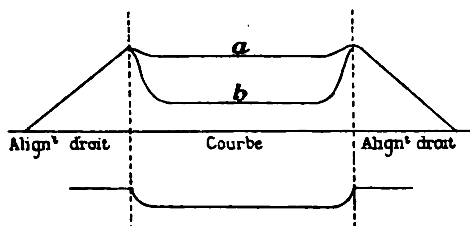


Fig. 7.

1° Si le devers est pris tout entier sur l'alignement

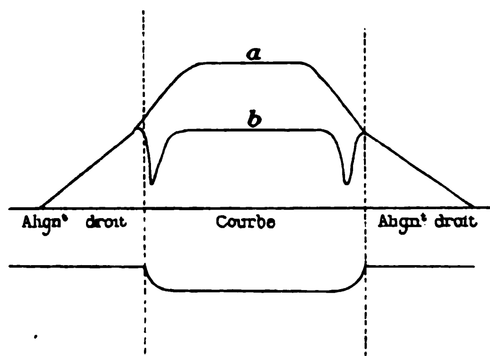


Fig. 8.

droit et s'il n'existe pas de raccordement en plan, l'aspect

général du diagramme sera celui de l'un des tracés *a* ou *b* de la *fig.* 7 ci-contre, selon que l'on opérera à une vitesse faible ou au contraire élevée ;

2° Si le devers est pris en partie sur l'alignement droit et en partie sur la courbe, sans raccordement en plan, le diagramme prendra l'aspect de la *fig.* 8_a ou 8_b;

3° Si la courbe présente un raccordement en plan correspondant d'une manière plus ou moins rigoureuse à l'accroissement progressif du devers, on obtiendra l'un des diagrammes, d'allure régulière, représentés *fig.* 9.

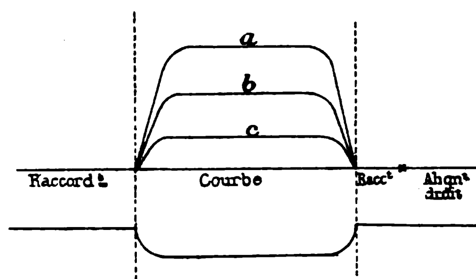


Fig. 9.

On reconnaît que les deux courbes *a* et *b* de la Pl. XIV rentrent dans cette dernière catégorie.

C. — POINTS SINGULIERS ET CHOCS DE LA VOIE.

Dans ce qui précède nous nous sommes attaché à l'étude des éléments d'ordre géométrique qui définissent en quelque sorte la forme générale de la ligne, éléments qui, même dans leurs variations, présentent un certain degré de continuité et dont l'influence sur les trains en marche se traduit par des effets statiques ou dynamiques doués également d'une certaine continuité.

Quant aux particularités absolument locales qui constituent ce qu'on peut appeler les points singuliers de la

voie, joints de rails mal réglés, pointes d'aiguilles ou pointes de cœur, contre-rails de passage à niveau insuffisamment dégagés, coups brusques par suite de traverses affaissées, ou de ripage, les effets qui en résultent sur les trains sont de la nature des chocs, c'est-à-dire qu'ils consistent dans des efforts très grands, mais d'une durée extrêmement courte.

Les chocs ne sont pas susceptibles de mesure; l'intensité de leur action dépend en effet non seulement de la nature de l'obstacle rencontré, de la vitesse et des conditions d'incidence, mais encore de l'élasticité intime du corps choqué. Néanmoins il sera toujours utile de chercher à *enregistrer* les chocs au point de vue de leur emplacement sur la voie et même de leur énergie relative constatée sur un même véhicule.

On peut se proposer d'étudier les chocs longitudinaux et les chocs transversaux. On reconnaît aisément que les premiers n'ont qu'une faible énergie relative, et que c'est à l'observation des chocs transversaux qu'il convient surtout de s'attacher.

Pour cette étude on se servira encore de l'appareil à pendule, mais, contrairement à ce qui a été fait pour l'étude du profil en long et du tracé général en plan, l'inertie du pendule sera réduite à son minimum par la suppression de tout volant. Cette suppression est d'une nécessité absolue, puisque le volant avait précisément pour objet et pour effet de rendre le pendule insensible aux chocs qui forment maintenant l'objet de notre étude. Mais ici se présente une sérieuse difficulté. Les chocs transversaux produits par le réglage toujours imparfait des joints des rails donnent lieu, même sur les meilleures voies, et dans les véhicules les mieux suspendus, à un mouvement oscillatoire du pendule presque continuel et de grande amplitude. En effet, après un premier lancé du pendule, la masse mobile décrit une série d'oscillations consécutives, lesquelles se com-

posent avec celles qui peuvent être produites par de nouveaux chocs ; dans ces conditions l'amplitude des mouvements devient parfois excessive, masquant entièrement l'effet des chocs proprement dits.

Pour obvier à cette difficulté, on aura recours à l'expédient suivant : le pendule, au lieu d'être laissé libre d'osciller dans les deux sens, sera maintenu au moyen d'un calage dans une direction initiale faisant un certain angle avec sa position d'équilibre naturel, soit par exemple sous une inclinaison de 10 p. 100. Dans cette situation, les chocs peu importants que l'on ressent dans les conditions normales de circulation sur une voie en bon état ne détermineront aucun déplacement du pendule. Lorsqu'un choc d'intensité anormale se présentera, le pendule sera lancé à quelque distance, mais retombera immédiatement à sa position initiale, où il restera en repos jusqu'à ce qu'un nouveau choc produise un nouveau lancé. L'amplitude des divers lancés, ajoutée à la déviation initiale du pendule, donnera, sinon la mesure, du moins un terme de comparaison assez exact des divers chocs éprouvés.

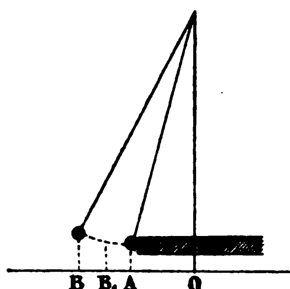


Fig. 10.

L'observation des chocs de la voie par la méthode que nous venons d'indiquer est une opération très facile et en même temps très fructueuse. Elle comporte toutefois deux observations.

En premier lieu, le pendule, calé comme l'indique la figure ci-dessus, ne sera lancé dans la direction AB que par un choc se produisant de droite à gauche. Mais on peut observer que presque toujours un choc brusque produit dans un sens est suivi immédiatement d'une

réaction à peu près égale en sens contraire, de sorte que l'indication du choc sera fournie ou par l'action ou par la réaction. Rien n'empêche d'ailleurs de disposer l'appareil avec deux masses pendulaires, actionnées l'une vers la droite, l'autre vers la gauche, de manière que l'effet d'un choc soit certainement accusé par l'un ou par l'autre.

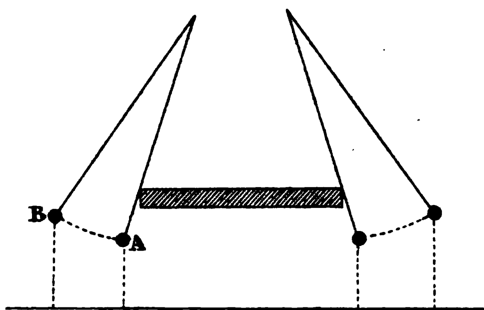


Fig. 11.

D'autre part, il faut remarquer que la composante d'inertie due aux actions combinées du devers et de la force centrifuge dans les courbes a pour effet de déplacer la ligne d'axe à laquelle doivent être rapportées les ordonnées indicatrices des chocs. L'inconvénient est minime si l'on marche à une vitesse assez grande, les actions du devers et de la force centrifuge se compensant à peu près complètement. C'est seulement lorsque l'on parcourt à faible vitesse une courbe à devers prononcé que les lancés du pendule cessent de donner une idée nette de l'importance des chocs produits par la voie. L'emploi de deux pendules opposés permettra encore, par la constatation du déplacement moyen obtenu, d'estimer l'importance du choc produit à un moment donné. Il est bien entendu d'ailleurs qu'en toute circonstance on devra avoir égard à la vitesse du train, qui est un élément très important dans la production des chocs.

L'étude des chocs de la voie, par la méthode sommaire que nous venons de définir, conduit à certaines constatations générales qu'il semble intéressant de résumer ici.

1° Les chocs transversaux de quelque importance se présentent toujours en des points déterminés de la voie, que l'on retrouve les mêmes si on parcourt plusieurs fois la même section. En d'autres termes, ces chocs ne se développent jamais spontanément dans le train (*), mais ils ont toujours pour origine une défectuosité locale de la voie. L'intensité du choc en un point donné peut d'ailleurs varier avec les conditions particulières dans lesquelles s'effectue la rencontre du véhicule avec le point défectueux de la voie.

2° L'intensité totale des chocs ressentis à l'intérieur d'un véhicule est fonction à la fois de l'état de la voie, de la vitesse, et des conditions d'établissement du véhicule (empattement, profil des bandages, suspension); toutefois elle se maintient pratiquement entre certaines limites.

Sur une bonne voie, la valeur des composantes transversales dues aux chocs reste généralement comprise entre 4 et 8 p. 100; en d'autres termes un pendule incliné à l'avance de 4 p. 100 éprouvera presque continuellement de petits lancés, et un pendule incliné à 8 p. 100 restera à peu près constamment insensible.

Sur une voie médiocre, la valeur des composantes de choc varie entre 10 et 15 p. 100; les efforts d'inertie transversaux sont alors comparables aux plus fortes réactions longitudinales que l'on éprouve pendant la période de serrage d'un frein continu à action très énergique.

Des réactions de 15 à 20 p. 100 ne sont observées

(*) Le simple mouvement de lacet ou de serpentement des véhicules n'est pas par lui-même de la nature des chocs, mais il est presque toujours la conséquence d'un choc initial plus ou moins sensible.

que sur des voies très mauvaises ou au passage d'appareils particulièrement durs; des réactions de cette force donnent l'impression d'un déraillement possible.

La cause à laquelle on doit imputer un choc ressenti n'apparaît pas toujours au premier abord. Mais, le point de la voie étant précisé, on arrivera toujours par un examen sur place à reconnaître le défaut existant et, s'il y a lieu, à le corriger.

BULLETIN.

PRODUCTION MINÉRALE ET MÉTALLURGIQUE DES ILES BRITANNIQUES PENDANT L'ANNÉE 1897.

DÉSIGNATION des SUBSTANCES EXTRAITES	QUANTITÉS	VALEUR sur les EXPLOITATIONS	PRIX moyen
1° *Substances minérales.*	tonnes	francs	fr. c.
Houille	205.364.010	1.506.643.027	7,33
Schistes bitumineux	2.259.325	14.020.706	6,20
Pétrole	12	732	61,00
Minerai de fer	14.008.484	81.152.790	5,79
— des marais	7.238	44.917	6,20
Pyrites de fer	10.752	114.120	10,61
Minerai de plomb	35.903	6.945.815	193,46
— de zinc	19.586	1.744.064	89,04
— de cuivre	7.246	471.765	65,10
Cuivre de cément	224	58.510	261,20
Minerai d'or	4.589	158.432	34,52
— d'étain	7.234	6.411.378	886,28
— de nickel	305	7.566	24.80
— d'uranium	30	34.476	1.149,20
— de manganèse	609	8.852	14,53
Wolfram	127	50.642	398,75
Ocre, terre d'ombre, etc	14.653	327.784	22,37
Arsenic	4.232	1.886.330	445,73
Pyrites arsenicales	13.347	270.711	20,28
Spath-fluor	302	10.012	33,15
Gypse	184.287	1.689.185	9,17
Barytine	23.087	608.231	26,33
Sulfate de strontiane	15.227	108.698	7,14
Minerai d'aluminium (bauxite)	13.540	71.196	5,26
Argiles	12.908.479	36.647.888	2,84
Ardoises	618.341	41.602.307	67.28
Phosphate de chaux	2.032	88.270	43.44
Craie	3.920.183	4.125.866	1,52
Pierres à chaux (autres que craie)	11.179.580	29.154.143	2,60
Silex	95.209	416.004	4,37
Granite	1.876.880	13.936.673	7,42
Gravier et sable	1.378.496	2.807.793	2,04
Grès	5.043.535	38.452.934	7,62
Quartz	459	8.550	18,54
Basalte, etc	2.393.243	11.131.881	4,65
Mica	5.062	43.555	8,63
Stéatite	28	2.472	88,30
Schistes alumineux	621	1.917	3,09
Sel	1.933.949	15.659.047	8,09
Jais (en kilogrammes)	38^{kg}	202	5,32
Valeur totale des substances minérales.	»	1.816.919.441	»

DÉSIGNATION des SUBSTANCES EXTRAITES	QUANTITÉS	VALEUR sur les EXPLOITATIONS	PRIX moyen
2° *Métaux* (*).			
	tonnes	francs	fr. c.
Fonte	8.937.208	533.686.649	59,71
Plomb	53.241	16.547.303	310,80
Zinc	16.204	7.236.706	446,60
Cuivre	58.369	75.687.082	1.296,70
Etain	7.865	12.772.917	1.624,02
Aluminium	315	1.157.094	3.673,31
Nickel	7,6	26.481	3.484,34
Argent (en kilogrammes) (**)	16.243kg	1.512.693	98,13
Or (en kilogrammes) (**)	112	322.143	2.876,28
Valeur totale des métaux	»	648.949.071	»

(*) Y compris ceux qui sont tirés de minerais importés.
(**) Y compris l'or et l'argent tirés des pyrites auro-argentifères importées, mais non compris l'or et l'argent obtenus par la fusion des autres minerais d'or et d'argent importés.

PRODUCTION DE LA HOUILLE PAR COMTÉ.

COMTÉS	QUANTITÉS	VALEUR sur les EXPLOITATIONS
Angleterre.	tonnes	francs
Chestershire	750.310	5.897.848
Cumberland	2.018.321	13.994.704
Derbyshire	12.850.794	87.723.104
Durham	34.360.173	226.733.727
Gloucestershire	1.342.657	12.220.528
Lancashire	23.177.571	172.461.497
Leicestershire	1.652.580	11.964.671
Monmouthshire	9.456.222	79.221.442
Northumberland	9.924.754	64.566.983
Nottinghamshire	7.081.951	50.540.804
Shropshire	714.503	5.616.393
Somersetshire	873.762	8.675.705
Staffordshire	13.664.829	102.802.042
Warwikshire	2.592.954	17.968.418
Westmoreland	1.054	8.499
Worcestershire	880.967	6.013.734
Yorkshire	24.440.266	199.691.279
Totaux	145.783.668	1.066.101.378

COMTÉS	QUANTITÉS	VALEUR sur les EXPLOITATIONS
Pays de Galles.	tonnes	francs
Breconshire	303.433	2.417.564
Carmarthenshire	1.021.703	7.870.910
Denbighshire	2.295.751	16.383.769
Flintshire	676.011	4.824.384
Glamorganshire	25.514.352	213.152.051
Pembrokeshire	83.583	1.141.129
Totaux	29.894.833	245.789.807
Écosse.		
Argyle et Dumfries	144.000	893.620
Ayrshire	3.642.794	21.852.575
Clackmannan	347.267	2.478.294
Dumbarton	507.975	3.520.107
Edinburgh	1.162.823	8.659.363
Fife	4.143.063	29.567.247
Haddington	386.820	2.760.556
Kinross	1.483	10.593
Lanark	16.075.454	101.659.929
Linlithgow	911.293	6.503.507
Peebles	857	6.128
Renfrew	42.729	238.657
Stirling	2.177.578	15.259.159
Sutherland	4.188	31.197
Totaux	29.548.324	193.440.932
Irlande.		
Connaught	8.330	58.737
Leinster	86.465	870.267
Munster	14.622	140.652
Ulster	27.768	241.254
Totaux	137.185	1.310.910
Totaux généraux	205.364.010	1.506.643.027

(*Extrait du* General Report and Statistics relating to the Mines and Quarries, in the United Kingdom of Great Britain and Ireland.)

NOTE

SUR LES

GISEMENTS DE MINERAIS DE FER

DES PRESQU'ILES DE KERTCH ET DE TAMAN (Russie)

Par M. BAYARD, ancien élève de l'École Polytechnique.

Historique (*).

En 1832, les gisements de Kertch et de Taman sont signalés par les ingénieurs des mines Gourief et Vozboinikof. En 1834 et 1838, au *Journal des Mines russe*, Gourief étudie le parti à en tirer pour la création d'une usine métallurgique.

En 1837, Le Play, lors du voyage d'exploration fait sous les auspices d'Anatole Demidoff, étudie ces minerais et les décrit dans la relation de ce voyage (Paris, 1842, t. IV). Il considère qu'auprès de Kamysch Bouroun un lavage de la couche peut donner de 20 à 80 p. 100 de minerai hydroxydé en grains rendant de 40 à 52 p. 100 de fonte, les argiles ocreuses du résidu tenant encore de 12 à 25 p. 100 de fer. La teneur moyenne de la couche serait de 33 p. 100, la puissance de 5 mètres. Il y signale la présence de la vivianite ou fer phosphaté de Kertch, ainsi que des teneurs en manganèse élevées sur certains points, et conclut que ces gisements se trouvent dans les

(*) M. de Keppen, qui a occupé une haute situation au Corps des Mines russe et auquel nous sommes redevable des renseignements relatifs à l'historique des mines de Kertch, en commence la publication détaillée dans le *Gorno zavodsky Listok*, de Kharkoff, le 1er avril 1899.

meilleures conditions pour l'exploitation et le traitement. A cette étude sont jointes les descriptions et teneurs de 17 échantillons de minerais de Kamysch-Bouroun, Taman et Tobetshik.

Ajoutons de suite que toutes les conclusions de Le Play, après une étude rapide, ont été confirmées par les études faites dans ces trois dernières années, par les résultats d'un millier de puits ou sondages et autant d'analyses.

En 1845, le comte Voronzoff, gouverneur de Crimée, prend l'initiative de la création d'une usine métallurgique: les ingénieurs des mines Gourief et Ivanitzky, chargés de cette étude, décrivent dans un rapport déposé au Département des Mines le gisement de Kamysch-Bouroun, qu'ils considèrent comme « le plus riche de la Russie méridionale ». Ils l'estiment à 46 millions de tonnes, réparties sur une superficie de 12 kilomètres carrés. Une série d'essais faits au laboratoire du Département des Mines montre un rendement de 39 à 40 p. 100 de fonte avec 33 p. 100 de fondant. Un lavage serait inutile ; mais un triage enlèverait toute trace du phosphore indiqué par Le Play et contenu dans les parties riches en coquilles. L'exploitation n'en doit pas coûter un kopek par poud (1 fr. 60 par tonne).

Au sud du lac Tobetschik, Gourief constate que le minerai est de puissance moindre, moins compact et moins régulier de composition. A Taman, il ne trouve que des couches dépassant à peine 1 mètre, très riches en coquilles, par suite en phosphore, de fort pendage, avec plissements et rejets nombreux.

Après de nouvelles études en 1846 venant confirmer ces conclusions, le Gouvernement fait construire, à Kertch, un fourneau d'essai.

Les résultats en furent déplorables, et il n'y a pas lieu de s'en étonner : on ne connaissait à cette époque que le traitement des minerais riches et réguliers de l'Oural; on

devait donc rencontrer des difficultés insurmontables au traitement de minerais pauvres, irréguliers, humides et menus. Les fontes, en outre, avec plus de 1 1/2 de Ph, devaient être à peu près inutilisables.

L'échec de cette fabrication amena l'Administration des Mines à remplacer Gourief par l'ingénieur des mines Mévius, en 1851.

Dans des rapports de 1852 et 1853, Mévius étudie à nouveau ces gisements ; il indique ceux de Katerless ; il conclut à la construction d'une nouvelle usine.

Une fois l'usine construite et après essais préalables au cubilot, il revenait de Pétersbourg pour mettre son haut-fourneau en feu, quand, à son arrivée à Kertch, il le trouve démoli, bombardé par la flotte alliée. Le minerai de Kertch fut décidément abandonné.

En 1896, un groupe d'ingénieurs russes et étrangers reprend l'étude de ce minerai : la teneur en phosphore, surtout jointe à la teneur en manganèse, était devenue un avantage au lieu d'un inconvénient ; on avait les éléments d'une excellente fonte Thomas. L'un d'eux, un ingénieur français, vient à Kertch, traite avec la ville de Kertch et avec le propriétaire de Kamysch-Bouroun le droit de recherches et d'exploitation éventuelle de ces gisements miniers ; après trois mois d'études, il avait constaté l'exactitude des données anciennes, reconnu ces deux bassins et celui de Baksy. Bientôt le bassin d'Eltiguen était reconnu par la Société d'Ougrée, celui de Yanysch-Takil par la Société de la Providence.

Au milieu de 1897, les minerais de Kertch, oubliés pendant plus de quarante années, reprenaient place parmi les richesses reconnues les plus importantes du sous-sol de la Russie.

Géologie.

La géologie des presqu'îles de Kertch et de Taman a fait l'objet de nombreuses études. Il y a déjà un siècle que Pallas publiait un tableau physique et topographique de la Tauride. Verneuil en 1838, Huot et Le Play, dans l'expédition Demidoff, Dubois de Montperreux, d'Orbigny, Barbot de Marny, Coquand, représentent la part prise par la science française à cette étude. Avec les étrangers Eichwald, Murchison et Brandt, les savants russes Hassagen, Abich, Scouliatchenko, Romanofsky, Golovkinsky complètent la bibliographie très riche relative à ce pays. Dans ces dernières années, la presqu'île de Kertch a été explorée d'une façon plus spéciale encore par M. Lanet, directeur de la Société des pétroles de Crimée, et par M. le professeur Androussof, qui, comme conclusion à de nombreux travaux sur la région, donnait en 1893, dans les *Matériaux pour servir à l'étude de la géologie de la Russie* (vol. XVI), une carte géologique complète et une description géotectonique de la presqu'île. Nous leur empruntons une partie des détails géologiques qui suivent.

Les étages géologiques apparaissant dans cette contrée sont les suivants :

1° *Dépôts quaternaires.* — Sous forme de coquilles marines ou lacustres, cailloux roulés, lœss ;

2° *Pliocène supérieur.* — Couches de Tchaouda ; sables d'Aktara Kodjalki et d'Adjibai ;

3° *Pliocène moyen.* — Sables et argiles des bassins de Kertch, Kamysch Bouroun, Yanysch Takil et Adjibai ;

4° *Pliocène inférieur ou pontique.* — Puissance, environ 60 mètres :

Couches supérieures : minerais de fer ;

Couches inférieures : marnes à *Valenciennesia*, grès de

Kamysch Bouroun à *Cardium Abichi*, faluns de Kamysch Bouroun, sables à *Dreissena subcarinata;*

5° *Miopliocène ou méotique.* — Puissance, environ 80 mètres :

Calcaires de construction, avec intercalations de marnes et d'argiles ;

Couches à *Modiola volhynica*, *Dreissena subbasteroti*, *Dreissena Novorossi ;*

6° *Miocène supérieur ou sarmatique.* — Puissance, environ 4 à 500 mètres :

a) Calcaires coralliens à Bryozaires ;

b) Argiles schisteuses et marnes à ciments ;

c) Marnes, sables, calcaires, à *Cardium obsoletum ;*

d) Argiles fragmentées, foncées, à *Cardium protractum.*

Ces deux dernières couches avec imprégnations et affleurements pétrolifères ;

7° *Miocène moyen.* — Puissance, environ 150 mètres :

a) Couches à *Spaniodon*, argiles avec intercalations de sables, marnes et sphérosidérites ;

b) Calcaires de Tchokrak ;

c) Argiles inférieures ;

b) et *c*) formant l'étage supérieur des couches pétrolifères du miocène.

Configuration générale.

La configuration générale des presqu'îles de Kertch et de Taman (Pl. XV) présente une série caractéristique de bassins successifs synclinaux et anticlinaux dont on a expliqué la formation par les plissements dus à la combinaison de deux systèmes orogéniques, des directions de soulèvement du Caucase et du Tchatyr-Dag, en Crimée.

C'est à ces causes de soulèvement toujours actives, bien que dans une mesure bien atténuée, que l'on peut attribuer

les volcans de boue spéciaux à ces régions et une véritable éruption qui s'y est produite, il y a un siècle. Dans la presqu'île de Kertch, toute la partie supérieure des plissements a été enlevée par des érosions creusant dans les argiles du miocène supérieur et moyen des vallées anticlinales séparées des bassins synclinaux par les calcaires et les marnes du Sarmatique.

Dans la presqu'île de Taman, l'extrémité ouest, seule, montre la même configuration, présente les mêmes collines calcaires : les chaînes de collines parallèles est-ouest qui partent de Taman, de Fontane, aussi bien que de l'extrémité du golfe de Taman, se trouvent sur les argiles du miocène; ce sont d'anciens volcans de boue qui ont formé ces hauteurs par l'accumulation de leurs déjections et de leurs boues.

Si, dans la presqu'île de Kertch, on descend du nord au sud, on trouve un axe anticlinal passant par Tarkhane avec ses volcans de boue en activité et par Karagar;

Ensuite la vallée synclinale de Kertch, Pacha-Saline, le lac d'Aktache;

L'anticlinal de Djerjava, avec ses volcans de boue, Kaline et Chokoul;

Le bassin synclinal de Kamysch Bouroun et d'Eltiguen;

Puis, s'inclinant vers le Sud-Ouest, les axes anticlinaux de Tchonguelek et Kop Takil, séparés par le bassin synclinal de Yanysch Takil.

Malgré l'intérêt qui s'attache aux axes anticlinaux au point de vue des naphtes et volcans de boue, nous ne nous occuperons ici que des bassins synclinaux où se rencontre le minerai; nous dirons seulement que M. Lanet, à une profondeur d'environ 400 mètres, a obtenu un jaillissement important, presque aussitôt arrêté par l'écrasement des tubes, à Tchonguelek.

Le bassin de Kertch, Pacha-Saline, Aktache est entièrement garni par les dépôts méotiques en bancs calcaires

importants, partiellement recouverts par des dépôts quaternaires. Le terrain pontique ne s'y retrouve qu'en certains points : dans le bassin de Kertch où il occupe une superficie considérable, sur la mer d'Azow, auprès de Maiak Saline où il a été jusqu'ici insuffisamment reconnu, enfin au-delà du lac d'Aktache à Cième-Kolodtzef.

A ce bassin se rattachent quelques témoins de la mer pliocène qui se sont trouvés protégés contre l'érosion par de véritables cirques formés autour d'eux par les calcaires sarmatiques : tels Baksy, Tchokrak-Babtchik, Bourache. Le petit bassin d'Assovina doit être le reste d'un synclinal enlevé par la mer d'Azof.

Le bassin de Kamysch Bouroun et d'Eltiguen a eu sa partie Nord-Est enlevée par la baie de Kamysch-Bouroun ; il est divisé en deux parties par le lac Tchouroubache, et le minerai ne reparaît qu'à une certaine distance au Sud de ce lac. Sur tout le reste de son pourtour, il est délimité par les calcaires coralliens du sarmatique.

Enfin le bassin de Yanysch-Takil, resserré entre deux axes anticlinaux, s'étend sur une assez grande longueur et s'ouvre sur la mer.

A Taman, le bassin minier limité à l'Ouest par la chaîne de Lyssaiagora, au Sud par le mont Zélienskavo, passe entre le volcan de boue éteint, Karabetof, et le golfe de Taman.

Un deuxième bassin minier moins connu se trouverait à l'Ouest du Limane Tzokoure, entre le Karabetof et la montagne Krouglaia.

Mais, à l'Est, les calcaires méotiques semblent disparaître ; le pliocène reposerait directement sur les argiles du miocène ; dans cette région, où ont existé des villes importantes, Koromdama qui est devenue Tmoutarakan et ensuite Taman, ainsi que Phanagoria, on ne retrouve aucune carrière ayant servi à les bâtir.

Stratification des bassins.

Tous ces divers bassins présentent la même configuration; les couches calcaires qui les limitent sont surmontées d'une chaîne de témoins, de petits pics, laissés par les calcaires sarmatiques; ces hauteurs ont souvent servi de base aux « kourganes », tumuli datant des Grecs, si nombreux près de Kertch et de Taman, qui ont fourni presque tous les bijoux antiques conservés à l'Ermitage, à Pétersbourg.

Sur les calcaires sarmatiques, s'étendent les calcaires méotiques qui renferment toute l'eau potable consommée dans le pays; la presqu'île de Kertch et celle de Taman sont absolument dénuées d'eaux courantes; elles ne contiennent que des ruisseaux desséchés d'ordinaire, mais qui, après quelques heures d'orage, peuvent devenir assez forts pour causer des accidents graves; c'est ainsi qu'en juillet 1897 une partie de la ville de Kertch fut noyée par les eaux de la vallée de Babtchik débouchant par l'orifice de Katerless.

Cette couche calcaire a été recoupée par tous les puits foncés sur les affleurements, par tous les puits artésiens établis dans la vallée sur les indications de MM. Androussof, Lanet et Golovkinsky. Foncés plus profondément, ces sondages pénétraient dans les argiles gypseuses du miocène et donnaient alors des eaux absolument saumâtres.

Ces calcaires coquilliers du méotique se retrouvent sur tous les bords de la mer Noire et de la mer d'Azow; ils prennent en quelques endroits une homogénéité très grande ayant permis l'ouverture de carrières importantes; l'exploitation est des plus faciles, la pierre se découpant à la scie à main; les carrières ouvertes auprès de Boulganak et d'Adji Mouchkai montrent par leur étendue les quantités énormes de pierre prises depuis deux siècles

pour construire successivement la ville grecque, la ville turque et la ville russe, qui se sont succédées sur l'emplacement de Kertch. Mais, éminemment friable, cette pierre n'a laissé de la ville ancienne, Panticapée, que des décombres atteignant 3 et 4 mètres de hauteur, sans qu'on ait conservé un seul des édifices qu'elle a servi à construire.

C'est sur les calcaires méotiques que se présentent les couches de minerais de fer du Pontique soit directement, soit séparés par des faluns, comme à Kamysch Bouroun.

Enfin sur les minerais, les argiles et les sables du quaternaire.

Bassins miniers.

Les deux bassins de Kertch et de Kamysch Bouroun sont séparés par l'anticlinal de Djerjava dont le pendage est rapide sur ses deux faces. Les parties opposées des deux bassins sont, au contraire, en plateure, et présentent une superficie considérable permettant l'exploitation à ciel ouvert.

Les limites du bassin de Kertch sont nettement indiquées par les pointements de calcaires sarmatiques, et cela, même du côté de la mer où le bassin se trouve partiellement enlevé ; une ligne de rochers dans la mer, jalonnant la direction Mithridate, Nouvelle Quarantaine, en ferme le contour.

Le minerai, caché d'abord au versant Nord de Mithridate par des constructions, apparaît à la surface du sol avec sa teinte jaune caractéristique dès la sortie de la ville, à la mosquée tartare et après le Schlagbaum. Il continue dans la direction avec le même pendage rapide d'environ 45° au milieu des jardins qui font suite.

Il tourne ensuite vers le Nord-Est, disparait à l'entrée de la vallée du Mélek Tchesmé, pour reparaître avant Kater-

less avec un pendage Nord-Est de 10° environ. Tous les puits du village ont recoupé le minerai avant d'atteindre les calcaires méotiques. L'affleurement passe ensuite au Sud du village de Boulganak, prend une direction Sud-Est devant Adji Mouchkai, tourne au Sud-Ouest devant le Tsarsky Kourgane et arrive à l'Ouest de la Nouvelle Quarantaine où il longe un moment le rivage avant de disparaître dans la baie. La puissance varie de 4 à 6 mètres, constatée par un demi-millier de puits ou sondages. Le pendage dans toute la partie Est, derrière le faubourg de la Nouvelle Quarantaine, varie de 5° à 10°.

Ce bassin minier couvre une superficie supérieure à 3.000 hectares, partiellement immobilisés par la présence de constructions et de jardins, mais laissant encore à l'exploitation une superficie suffisante pour donner une centaine de millions de tonnes, sur lesquelles un dixième environ pouvant se prendre à ciel ouvert.

L'existence de ces réserves immenses n'a pas empêché la reconnaissance et la mise en exploitation concurremment d'un autre bassin, celui de Baksy, séparé du premier par une distance d'environ 3 kilomètres.

Bien qu'à la carte d'Androussoff ce dépôt du Pontique ne figurât pas, le minerai s'y constata facilement aux affleurements et fut reconnu par un premier puits qui recoupa 11 mètres de minerai; des recherches méthodiques le délimitèrent entièrement et constatèrent sous le village de Baksy le minerai à 250 mètres de profondeur avec les calcaires et leurs réserves d'eau au mur. L'importance est du quart environ du précédent bassin. Les couches minières du petit bassin d'Assovina se présentent d'une façon intéressante, surmontant une falaise calcaire qui s'écroule dans la mer par tranches verticales successives ; on a donc une coupe géologique d'un bel aspect; mais l'importance en est relativement faible, la couche présentant à la falaise sa plus forte épaisseur et s'amincissant

rapidement ensuite ; le minerai entraîné par les eaux a laissé à nu sur une grande étendue le calcaire du mur avec la teinte brune caractéristique qu'il a prise au contact du minerai.

C'est à Kamysch Bouroun que les géologues ont pour la première fois constaté la présence du minerai : une falaise de 40 mètres de hauteur, sur une distance de 2 kilomètres, présente à mi-hauteur une large bande brune presque horizontale, qui se remarque du large quand on arrive à Kertch ; à une extrémité, la mer venant saper la falaise a provoqué des éboulements successifs et, délavant les argiles et faluns, a laissé d'énormes blocs de minerais ; on peut en ce point, soit sur ces blocs, soit sur la couche elle-même, que des glissements ont amenée au niveau du rivage, étudier complètement cette formation minière.

Cette coupe a servi de point de départ à la reconnaissance de la couche, qui se relève légèrement vers le Sud, suit sous des morts-terrains la rive Nord du lac Tchouroubache, reparaît dans la propriété Kachoutine, contourne le bassin en suivant les affleurements calcaires à l'Ouest, puis au Nord, et revient joindre la côte sous les maisons du village de la Vieille Quarantaine.

La carte d'Androussof limitait au lac Tchouroubache le bassin pontique de Kamysch Bouroun ; le relèvement des terrains au Sud de ce lac, l'existence au Sud-Ouest d'une masse importante de calcaires à Bryozoaires semblaient justifier cette appréciation ; mais on a constaté qu'à partir de ce petit massif les calcaires sarmatiques prenaient non pas la direction Est-Ouest, mais la direction Nord-Sud, descendant jusqu'au village de Tobetschik pour ensuite remonter parallèlement au rivage, jusqu'à Eltiguen. Sur le plateau ainsi formé on a constaté un important dépôt minier qui se trouve en grande partie compris dans les propriétés Gourief, dans l'héritage de l'inventeur des minerais de Kertch.

On peut attribuer aux bassins de Kamysch-Bouroun et d'Eltiguen une contenance de 150 à 200 millions de tonnes.

Enfin, après l'anticlinal de Tchonguélek, une nouvelle vallée synclinale, la vallée de Yanysch-Takil, présente un nouveau bassin minier.

Mais, bien qu'ouvert sur la mer comme le précédent, il ne montre en falaise qu'une alternance de lits argileux et de couches ferrugineuses minces et pauvres ; c'est plus loin seulement que l'on reconnaît l'importance et la richesse du gisement, se présentant en plateure d'exploitation facile.

Étude de la couche.

La couche de minerai se trouve composée d'une série de lits successifs d'apparence et de composition différentes, bien visibles en particulier dans la falaise de Kamysch-Bouroun. De bas en haut on y rencontre :

a) Couche de coquilles calcaires empâtées dans un ciment ferrugineux ; c'est le « podroudok », sous-minerai qui se rencontre dans toute la région au mur constitué soit de calcaires coquilliers, soit, comme ici, de faluns partiellement agglomérés. Hauteur, 20 à 30 centimètres ;

b) Argiles ferrugineuses assez sableuses : 10 à 20 centimètres ;

c) Grains concrétionnés très friables, de la grosseur d'une noisette, d'une couleur jaune clair, peu agglomérés entre eux ; épaisseur, environ 1 mètre ;

d) et *e*) Couches à grains plus petits, plus foncés et plus durs, parcourues par un réseau de veines noirâtres qui, s'épaississant en certains points, donnent des cristaux de vivianite.

Ces couches alternent à intervalles de 30 à 40 centimètres avec d'autres couches plus dures, brun bleuâtre, d'un grain plus serré.

L'épaisseur totale de ces couches alternées est d'environ 3 à 4 mètres.

f) Couche de 1 à 2 mètres, sable noir en petits grains, minerai de fer tenant jusqu'à 15 p. 100 de manganèse, plus ou moins semé de coquilles blanches.

g) Couche de 40 à 50 centimètres entièrement formée de coquilles, principalement de *Cardium acardo*, de grandes dimensions et généralement bien conservées, faiblement reliées par une pâte argilo-ferrugineuse; elles sont d'ordinaire remplies par un minerai fortement manganésé et contiennent fréquemment des cristaux de vivianite, qui garnissent quelquefois la coquille de géodes d'un bel aspect. C'est dans cette couche que l'on a rencontré les plus beaux échantillons de ce minéral, autrefois connu sous le nom de fer phosphaté de Kertch. La vivianite, du reste, est disséminée en petits cristaux dans toute la couche à laquelle elle donne sa teneur, pouvant varier de 0,80 à 2 p. 100 de phosphore.

h) Couche supérieure d'épaisseur variable formée de minerais sableux assez siliceux.

Au toit, des argiles bleues, semées de cristaux de gypse ou des argiles jaune clair mouchetées de blanc. Les infiltrations de la surface ont, en certains points, amené, dans le minerai, des dépôts gypseux sans grande importance.

Tel est l'ensemble des couches qui se trouvent à Kamysch-Bouroun, mais que l'on retrouve rarement réunies dans le reste de la région; les couches *e*) et *d*) formant d'ordinaire la masse des gisements.

A Katerless comme à Eltiguen, le minerai noir en grains prend la prédominance; il arrive à tenir jusqu'à 15 p. 100 de manganèse. La partie du bassin de Kertch située derrière la Nouvelle-Quarantaine est peu manganésée et ne contient pas les couches à gros grains ou à coquilles. Les bassins de Baksy et d'Assovina se rapprochent plus de Kamysch-Bouroun.

Analyses.

Les tableaux ci-après donnent d'abord une série d'analyses sur les différents lits de Kamysch-Bouroun, puis une série d'analyses avec fer croissant et manganèse décroissant provenant du bassin de Kertch.

ANALYSES DES MINERAIS DE LA FALAISE DE KAMYSCH-BOUROUN.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lits	*a*	*c*	*c*	*d*	*d*	*d*	*e*	*e*	*e*	*f*	*g*
Humidité	2,8	5,95	7,45	9,75	7,65	8,45	8,65	5,90	5,20	3,20	
Perte au feu	—	12,65	12,45	12,90	9,10	12,40	11,20	—	—	—	21
Silice	9,80	11,30	11,40	11,10	25,10	15,70	14,60	16,80	12,40	11,90	10,6
Peroxyde de fer	52,64	49,73	52,66	55,91	42,71	53,67	54,54	40,12	47,83	47,60	38,9
Peroxyde de manganèse	5,9	3,12	1,94	0,97	1,33	0,50	2,0	11,00	9,9	10,7	4,8
Chaux	11,12	6,23	0,90	0,55	1,28	tr.	0,62	0,93	1,02	6,67	13,8
Magnésie	0,20	—	0,20	—	1,09	—	0,25	0,38	0,18	0,86	—
Acide phosphorique	1,50	7,50	3,25	4,15	1,38	3,05	2,9	2,30	2,85	1,84	1,44
Alumine	1,85	12,90	5,50	8,68	9,63	10,33	2,97	3,56	2,13	10,00	?
Fer	29,85	34,81	36,96	39,14	29,90	37,57	38,18	28,83	33,43	33,30	27,27
Manganèse	4,07	2,17	1,34	0,67	0,94	0,35	1,39	7,64	6,89	7,42	3,37
Phosphore	0,66	3,25	1,42	1,80	0,60	1,33	1,26	1,02	1,24	0,80	0,63

ANALYSES DES MINERAIS DU BASSIN DE KERTCH.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Humidité	6,2	10,3	8,1	8	10,5	10,2	9,5	12,2	9,7	8,6
Perte au feu	10,5	16,4	13,6	10,5	12,7	12	9,1	6,8	14,7	11,9
Silice	15,4	16,9	18,7	19,1	17,1	20	19,4	17,9	16,9	16,3
Peroxyde de fer	37	48,7	53	54	57,9	58,1	59,3	62,9	62,7	64,3
Peroxyde de manganèse	22,4	11	6,9	5,8	3,8	1,4	0,7	1,7	0,8	1,2
Chaux	0,5	0,6	1,7	1,7	1	1,1	1		0,6	0,9
Magnésie	1,4	0,9	1,2	1,9	2,5	1,4	1,1	1,1	0,4	0,2
Acide sulfurique	0,3	0,2		0,2		0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Acide phosphorique	1,4	1,8	2,2	2,0	2,2	2,4	2,2	2,2	2,8	2,8
Alumine	0,1	22,5	3,7	4,8	2,8	3,4	7,1	6,5	1	2,2
Fer	25,9	34,1	37,1	37,8	40,5	40,6	41,5	44	44	44,9
Manganèse	17,3	8,9	5,3	4,5	2,9	1,1	0,5	1,3	0,6	0,8
Soufre	0,1	0,09	0,01	0,06	0,02	0,06	0,06	0,1	0,04	0,04
Phosphore	0,6	0,8	1,00	0,9	0,9	1,05	0,96	1,21	1,2	1,21

Recherche et essai des minerais.

Les premières recherches entreprises sur ce gisement consistaient en puits de 1 mètre sur 1^{m},50, foncés sans

boisage jusqu'à une profondeur de 20 mètres; perpendiculairement à la direction des affleurements et sur tout le pourtour du bassin des lignes de puits furent établies et prolongées par des sondages à 12 centimètres de diamètre sans tubage.

Une fois constatés les contours du bassin, les emplacements prévus pour l'exploitation furent couverts d'un quadrillage de puits à 50 mètres de distance. En même temps on ouvrait quatre carrières, l'une à Katerless, une autre à la Nouvelle Quarantaine, deux enfin à Kamysch-Bouroun, qui fournirent 2 à 3.000 tonnes de minerais envoyés pour essais au fourneau, tant aux usines d'Ougrée en Belgique qu'à la Société de Briansk à Ekatérinoslaw. Des essais analogues furent faits par la Société de la Providence sur les minerais du bassin de Yanysch-Takil.

Ces expériences en grand démontrèrent la possibilité d'utiliser les minerais de Kertch, non seulement en mélanges, mais purs, la question de consommation de coke étant réservée. Des fontes, obtenues au traitement pur, donnèrent les analyses reproduites ci-dessous. L'allure fut intentionnellement maintenue chaude pour éviter les dérangements de fourneau possibles avec un minerai nouveau et complètement menu. A ces analyses sont jointes celles de diverses fontes Thomas, montrant l'analogie de composition avec celles de Kertch.

	Si..	Mn..	S..	Ph..
Kertch.	1,49	4,25	0,034	2,08
	1,30	3,93	0,044	2,14
	1,24	2,33	0,105	2,07
	1,35	1,82	0,103	2,12
	0,88	1,84	0,112	2,07
Diverses usines françaises et étrangères.	1,18	1,63	0,091	1,75
	0,98	1,63	0,091	1,75
	0,60	2,00	0,060	2,00
	0,50	1,50		1,80
	0,75	1,85	0,039	1,907
	1,12	1,20	0,064	1,760

Usines métallurgiques utilisant ces minerais.

Avec des teneurs variables en fer et en manganèse, les minerais des différents bassins se prêtaient à peu près également à la fabrication de la fonte Thomas. L'exploitation s'en montrait partout également aisée. Mais, au point de vue des facilités de transport, les divers bassins différaient notablement. Tandis que Kertch et Kamysch-Bouroun disposaient de rades excellentes, tandis que Kertch devait être prochainement relié au réseau des chemins de fer russes, El-Tiguen et Yanysh-Takil, ne pouvaient espérer de voie ferrée; ils ne pouvaient expédier que par mer et devaient charger sur une côte entièrement découverte, dans des parages dangereux quand soufflent les vents du Sud ou de l'Ouest. On ne pouvait dans ces conditions songer à établir d'usines métallurgiques sur ces minerais; aussi les Sociétés d'Ougrée et de la Providence reportèrent-elles leurs hauts-fourneaux dans la direction du charbon; elles s'installèrent sur la côte Nord de la mer d'Azow, à Taganrog et à Marioupoul.

Quant aux minerais de Kertch et Kamysch-Bouroun, on pouvait aussi facilement les exporter que leur apporter le charbon nécessaire à les fondre; comme pour les minerais lorrains, c'est la dernière solution qui a prévalu: avec les perfectionnements apportés à l'utilisation des gaz de hauts-fourneaux et de fours à coke, une aciérie peut ne consommer que le charbon nécessaire au coke de ses hauts-fourneaux. Il y a donc intérêt à transporter le charbon au lieu du minerai.

L'emplacement de Kertch offrait, du reste l'avantage, de permettre toute l'année les expéditions en mer Noire, tandis que la mer d'Azow est au moins quatre mois de l'année obstruée par les glaces.

Enfin les avantages des terrains mis à la disposition de l'usine par la ville de Kertch, comptant sur l'industrie pour lui rendre un éclat plusieurs fois éclipsé au cours de vingt-cinq siècles, le bas prix des castines prises immédiatement au mur de la couche de minerai, la possibilité enfin de recevoir éventuellement du Caucase des naphtes et des minerais spéciaux, décidèrent la Société des usines de Briansk, acquéreur des concessions de Kertch et de Kamysch-Bouroun, à construire auprès de Kertch son usine métallurgique.

Exploitation et préparation des minerais.

Les exploitations de minerais ont été ouvertes à Kertch dans les parties du bassin les plus proches de l'usine, dans le bassin de Baksy, et à l'extrémité du bassin de la Nouvelle Quarantaine, d'où le minerai arrivera par une voie ferrée d'une longueur totale d'environ 5 kilomètres. Il sera mélangé à celui de Kamysch-Bouroun arrivant par bateau et déchargé dans l'usine même.

L'exploitation se fait à ciel ouvert; elle comprend un découvert plus ou moins considérable de terres argileuses, puis l'enlèvement de la couche d'une consistance analogue; il n'y a donc qu'à faire une organisation aussi complète que possible de chantiers de terrassements donnant le mètre cube au plus bas prix de revient; on compte, du reste, employer des excavateurs. Le prix de revient sera, dans ces conditions, des plus minimes.

L'état physique de ce minerai sableux et terreux, presque absolument dénué de gros morceaux, donna de suite l'idée de l'enrichir par un lavage et de l'agglomérer pour en rendre plus facile le traitement au haut-fourneau; on devait craindre en effet autant le collage de la masse et la formation de blocs imperméables aux gaz que la filtration au travers du coke des minerais menus, coulant

par intervalles à l'état cru et même humide jusqu'au creuset du fourneau, occasionnant ainsi des refroidissements inattendus et dangereux pour la bonne marche.

L'enrichissement aurait eu pour but de séparer par un débourbage les grains ferrugineux riches, de la masse plus argileuse dans laquelle ils sont empâtés. Mais des essais préalables n'ont pas encouragé dans cette voie. Une classification par grosseur et par densité a bien montré un enrichissement, mais relativement faible : de 35,85, moyenne de la teneur en fer, on obtenait 40 p. 100 sur un quart de la quantité traitée, tandis que l'on avait moitié de schlamms tenant encore de 33 à 34 p. 100 de fer. La perte eût donc été trop grande et l'augmentation de prix de revient trop notable. Il y avait à craindre, en outre, que la préparation mécanique d'un minerai aussi friable n'augmentât encore la proportion des boues obtenues.

On se contentera donc d'agglomérer les minerais. Une importante installation de presses Biétrix permettra de passer au fourneau une moitié au moins du minerai sous forme de briquettes, qui augmenteront notablement la perméabilité du lit de fusion, cette agglomération permettant, en outre, de mélanger intimement au minerai une certaine proportion de chaux ou de fines de coke autrement inutilisables.

Dans le courant de 1899, toutes les installations relatives à l'exploitation des minerais, aux transports par fer et par eau, seront terminées et un premier haut-fourneau sera mis en feu, qui montrera sous quelle forme et avec quelle préparation se fera la meilleure utilisation du minerai de Kertch employé sans mélange.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT

SUR LES

EXPÉRIENCES FAITES AUX MINES DE BLANZY

LE 6 JUILLET 1898.

ÉTUDE DES CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DES DYNAMITIÈRES SOUTERRAINES.

Deux séries d'expériences, exécutées antérieurement par la Compagnie des Mines de Blanzy, sous la direction de la Commission des substances explosives (*), ont permis de définir les conditions qu'il convient d'adopter dans l'établissement des grands dépôts de dynamite, tant à l'intérieur des mines qu'à la surface du sol.

Une troisième et dernière série d'expériences a été faite pour étudier les conditions d'établissement des petits dépôts souterrains de dynamite, dans lesquels on emmagasine la consommation journalière de la mine. L'importance de ces dépôts varie, en général, de 1 à 5 caisses, soit 20 à 100 kilogrammes de dynamite.

Les questions que ces expériences avaient pour but d'élucider étaient au nombre de deux :

1° Quelle est l'importance des dégâts que l'explosion

(*) Voir *Annales des Mines*, 1er vol. de 1897, p. 86, 119, et 1er vol. de 1898, p. 644, 663.

d'une caisse isolée de dynamite peut occasionner dans les organes essentiels de l'aérage : portes et ventilateurs ?

2° Est-il possible, par une disposition convenable des caisses de dynamite emmagasinées dans un dépôt, d'éviter que l'explosion d'une caisse entraîne celle des caisses voisines ?

La réponse à ces questions devait fournir les éléments nécessaires pour définir l'emplacement dans la mine et l'importance que l'on peut donner aux petits magasins de dynamite sans compromettre la sécurité générale.

Accessoirement, une solution favorable de la seconde question pouvait donner un nouveau mode d'établissement des grands dépôts souterrains n'entraînant pas l'emploi, très coûteux, du tampon obturateur. Du moment où l'inflammation ne se transmettrait pas d'une caisse à l'autre, l'augmentation du nombre des caisses emmagasinées ensemble n'augmenterait pas généralement la gravité des effets produits en cas d'accident.

Le programme de la première expérience comportait l'étude des dégâts occasionnés par l'explosion d'une caisse de dynamite sur des portes et ventilateurs installés à différentes distances.

Pour ces expériences on a utilisé une longue galerie mettant en communication la carrière de remblais Maugrand avec le puits Saint-Pierre (Pl. XVI, *fig.* 1 à 3). Par suite de l'avancement des travaux, cette galerie devait être mise hors de service pendant le courant de l'année 1898. On profita de cette circonstance pour la réalisation d'une expérience qui pouvait amener l'effondrement, sur une certaine longueur, de la galerie utilisée.

Un barrage fut installé à 150 mètres de l'entrée de la galerie : il était constitué par un mur de briques M derrière lequel se trouvait un remblai R de 10 mètres d'épaisseur. C'est au pied de ce mur que la caisse renfermant 20 kilo-

grammes de dynamite n° 1 fut placée. En avant, on installa une première porte P à 10 mètres de la caisse, une seconde P' à 50 mètres et, enfin, une réduction de ventilateur V à 140 mètres, c'est-à-dire tout près de l'orifice de la galerie. Cette galerie avait 4 mètres carrés de section; elle était boisée, mais ce boisage, étant en assez mauvais état de conservation, fut, sur une certaine longueur à partir de la caisse, consolidé par des chandelles soutenant les chapeaux vers leur milieu.

Les portes étaient ouvertes dans un mur en briques de $0^m,30$ d'épaisseur, solidement appuyé sur le terrain; la section libre représentait la moitié de la section totale de la galerie. Le battant de la porte était fait en planches de 10 millimètres d'épaisseur réunies par un cadre en bois et fixé sur deux longues ferrures portant les gonds. La première porte, qui était à 10 mètres de la caisse, s'ouvrait vers l'intérieur, et l'autre vers l'extérieur.

Le ventilateur, ou plus exactement le schéma d'un ventilateur, était constitué par six bras en bois sur lesquels étaient légèrement clouées, par quelques pointes, des planches de 10 millimètres d'épaisseur; il occupait environ les 2/3 de la section de la galerie; il était mis en mouvement de l'extérieur, au moyen d'une corde passant sur une poulie.

Au moment de la détonation de la caisse, il se produisit un coup de vent à l'extrémité ouverte de la galerie, amenant avec lui un nuage de poussière, qui avança au dehors jusqu'à 5 mètres environ, puis deux autres souffles à une seconde environ d'intervalle et de plus en plus faibles.

En rentrant dans la galerie, on constata que l'une des planches formant ailettes du ventilateur avait été déclouée; mais rien n'avait été brisé. La planche enlevée, fixée seulement par des pointes très courtes, aurait pu être arrachée à la main. Un ventilateur réel, qui aurait été beau-

coup plus robuste, n'aurait certainement subi aucune avarie.

La porte P', placée à 50 mètres, avait été enlevée tout d'une pièce et projetée à 21 mètres; ses ferrures étaient arrachées et tordues. Le chapeau et les montants qui encadraient la porte avaient été ébranlés; la maçonnerie était intacte.

Mais, au delà, la galerie était éboulée; une bande de rocher s'était détachée de la couronne de la galerie sur 15 mètres de longueur à partir du mur fermant la galerie. Partout ailleurs le boisage n'eut pas de mal, sauf quelques chandelles qui furent renversées.

Quatre lampes qui avaient été placées sur le sol de la galerie, à 20 mètres de distance l'une de l'autre à partir de la seconde porte en se dirigeant vers l'entrée de la galerie, furent toutes renversées et, par suite, éteintes. Une lampe accrochée au parement, à côté de la dernière, ne s'est pas éteinte.

Avant de discuter les résultats de cette expérience, il faut préciser en quoi ses conditions diffèrent de celles qui se rencontreraient en cas d'accident survenant dans un magasin réel. En général, le magasin et la galerie d'accès seront muraillés, ce qui amènera une moins rapide atténuation de l'onde projetée par l'explosion que dans le cas d'une galerie boisée. Par contre, au lieu d'une galerie rectiligne, on ferait toujours un magasin avec des coudes, qui ont la propriété d'éteindre très rapidement les ondes brisantes projetées par la détonation des explosions. Enfin le magasin, qui doit être ventilé, aura le plus souvent deux accès libres, de telle sorte que l'onde, lancée dans les deux directions, aura seulement une intensité moitié de celle obtenue dans la galerie d'expérience, qui était en cul-de-sac.

En somme, on peut dire que les conditions de l'expé-

rience étaient, comme cela doit du reste toujours être, plus dures que celles de la pratique.

En ce qui concerne les ventilateurs, l'expérience montre bien nettement qu'à la distance de 150 mètres ils ne seraient pas endommagés par la détonation d'une caisse isolée de dynamite. Dans l'état actuel de profondeur des exploitations houillères, cette condition pourra toujours être réalisée ; il n'y a donc pas à s'en préoccuper.

En ce qui concerne les portes, l'interprétation des résultats obtenus doit être discutée de plus près. Les portes fermant le magasin ont été complètement balayées, jusqu'à la distance de 50 mètres ; il en serait encore de même sans doute, à la distance de 100 mètres, et peut-être encore à la distance de 200 mètres. On ne peut donc espérer disposer un magasin de façon à ce qu'en cas d'accident ses portes de fermeture restent indemnes. Il ne faudra donc, en aucun cas, que le magasin débouche dans deux galeries distinctes entre lesquelles l'existence d'une libre communication pourrait suspendre l'aérage dans un quartier de la mine. Le magasin, s'il a deux entrées, devra être placé en dérivation parallèlement à une même galerie, de sorte que son ouverture en grand soit sans influence sur le régime général de l'aérage.

A côté des portes du magasin, il faut se préoccuper des portes, beaucoup plus importantes, qui pourront exister dans les galeries voisines, où elles serviront à la répartition du courant d'air dans les travaux. Ces portes sont beaucoup moins exposées, parce qu'elles ne seront atteintes par l'onde de l'explosion qu'après que celle-ci se sera bifurquée entre plusieurs directions à la sortie du magasin. En outre, elles se trouvent le plus souvent sur une bifurcation d'une galerie dont une branche ouverte en grand offrira un libre passage au coup de vent. A mesure que l'onde de l'explosion progresse, elle s'étale très rapidement, comme l'ont montré de nombreuses expériences

de M. Vieille. Cet étalement a été rendu très sensible, dans les expériences de Blanzy, par la durée très appréciable du souffle observé à l'entrée de la galerie. Une semblable onde pourra encore exercer des pressions notables sur un obstacle qui l'arrête complètement, tandis que, si son passage n'est qu'à moitié barré, elle pourra s'écouler en ne produisant que des suppressions relativement faibles. La façon dont s'est comporté le ventilateur montre qu'une porte placée au même endroit et n'obstruant que la moitié de la galerie serait restée absolument indemne.

En s'astreignant à ce que les caisses de dynamite soient emmagasinées à une distance des portes d'aérage de la mine égale au moins à 200 mètres, on sera à l'abri de tout risque sérieux. Peut-être, par excès de précaution, pourrait-on doubler cette distance dans certaines circonstances exceptionnelles, dans le cas des puits jumeaux par exemple, avec lesquels tout l'aérage de la mine est à la merci des portes qui isolent les deux puits l'un de l'autre ; ou bien, si l'on ne peut obtenir une semblable distance, exiger l'emploi de portes métalliques très résistantes.

La deuxième série d'expériences avait pour but de chercher un moyen d'empêcher la détonation accidentelle d'une caisse de dynamite, dans un magasin, de se transmettre aux caisses voisines. Le procédé expérimenté a consisté à enfermer chaque caisse de dynamite dans un logement maçonné, fermé par une porte épaisse en fer et séparé de ses voisins par des distances plus ou moins grandes. On espérait ainsi protéger les caisses à la fois contre le choc de l'explosion et la pénétration des gaz chauds.

La galerie destinée à ces expériences a été creusée vers le fond de la carrière Sainte-Hélène ; elle se trouvait, au milieu de vieux travaux, dans une couche de

houille complètement désagrégée. Elle avait 29 mètres de longueur et 4 mètres carrés de section; elle était muraillée en maçonnerie de brique de 0m,36 d'épaisseur, sur une longueur de 11 mètres à partir de son extrémité fermée. Elle était boisée sur le reste de sa longueur, soit sur 16 mètres à partir de son orifice. La maçonnerie faite à la chaux et terminée depuis une quinzaine de jours seulement, n'avait guère plus de solidité qu'une maçonnerie en pierres sèches. Dans cette maçonnerie, on avait ménagé (Pl. XVI, *fig.* 4) trois logements pour les caisses de dynamite; ils étaient placés à une hauteur moyenne de 0m,50 au-dessus du sol de la galerie; leurs parois maçonnées avaient 0m,30 d'épaisseur; ils étaient fermés par des portes en tôle de 10 millimètres d'épaisseur, supportées à charnière par la partie supérieure et pouvant être maintenues fermées par un verrou placé à la partie inférieure (Pl. XVI, *fig.* 5, 6).

Le premier logement était placé à 0m,90 du fond de la galerie, le second à 3 mètres du premier, et le troisième à 6 mètres du second.

Pour l'expérience, le feu fut mis à la caisse du milieu, en laissant ouverte la porte de son logement. Les portes des deux autres logements étaient simplement rabattues, mais non fermées au verrou, circonstance qui, dans la pratique, pourrait résulter d'une négligence. Dans ces conditions, les deux portes n'étaient pas exactement appliquées sur leur siège et laissaient un entrebâillement de quelques millimètres.

La détonation ne s'est transmise à aucune des deux caisses latérales, et les portes de leur logement ne parurent avoir subi aucun effet de l'explosion. La caisse placée à 3 mètres était seule un peu coincée dans son logement, sans cependant présenter aucun indice de rupture des planches. Le mauvais état du terrain et le durcissement incomplet des mortiers avaient permis une transmission

latérale des pressions suffisante pour refouler un peu le logement maçonné et en même temps amener une fente dans le cadre en fonte qui supportait la porte. Le cône d'arrachement s'est étendu horizontalement à $1^m,20$ et $2^m,10$ de l'axe du logement; il restait encore, du côté de la caisse placée à 3 mètres, une longueur de mur maçonné, non éboulé, de 1 mètre. Verticalement, le rayon de rupture a atteint $1^m,50$; la majeure partie de la voûte était restée intacte, bien que la hauteur de la clef au-dessus de la caisse ne dépassât pas $1^m,75$. En face de la caisse ayant fait explosion, la maçonnerie était broyée et éboulée sur un rayon de $1^m,50$. La profondeur du cône, à l'emplacement de la caisse, était de $1^m,20$ et, sur la paroi opposée, de $0^m,20$. La partie boisée de la galerie qui se trouvait entre l'orifice et la partie maçonnée est restée intacte; il n'y a pas eu d'éboulement, comme on aurait pu s'y attendre après les résultats de l'expérience précédente; mais, dans le cas actuel, le boisage était neuf, tandis que dans le précédent il était vieux et en mauvais état.

La conclusion très nette à tirer de cette expérience est que, même dans un terrain exceptionnellement mauvais, il n'y a pas transmission de l'explosion entre des caisses de dynamite enfermées dans des logements distants de 3 mètres.

On peut résumer les conséquences que comportent ces expériences en formulant un certain nombre de règles dont l'application semble de nature à écarter tout danger grave pour une mine, dans le cas où un accident viendrait à se produire dans un dépôt souterrain de dynamite.

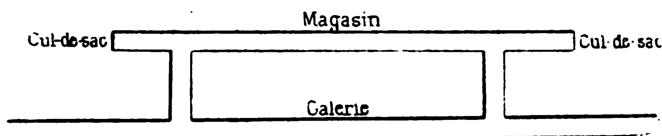
En énonçant ces règles, on fait totalement abstraction du peu de probabilité d'accidents semblables, ainsi que des dispositions particulières à telle ou telle mine, qui peuvent déjà, par elles-mêmes, atténuer le danger des

accidents, toutes conditions dont l'appréciation appartient aux administrations compétentes chargées de la surveillance des mines.

Chaque caisse sera enfermée dans un logement maçonné fermé par une porte en fer d'au moins 10 millimètres d'épaisseur. Cette porte sera suspendue à charnière par le haut, de façon à se fermer d'elle-même, et les gonds seront disposés de telle sorte que, par l'action seule de la pesanteur, la porte s'applique exactement sur son siège. Elle sera maintenue fermée par un verrou opposé à la charnière. Le siège sur lequel la porte s'appuiera sera en métal et présentera un double ressaut disposé de telle sorte que la porte fermée affleure, sans les dépasser, les rebords extérieurs.

Les logements seront séparés l'un de l'autre par une distance de 4 mètres, dans les terrains tendres, comme dans la houille et les schistes, et de 3 mètres dans les terrains très durs, comme le grès. Les logements seront placés à la suite l'un de l'autre sur une même paroi du magasin et jamais à la fois sur deux parois opposées.

Le magasin devra, sur chacune de ses communications avec les travaux, présenter au moins un coude prolongé par un cul-de-sac de 5 mètres de long ou plus, comme le montre le croquis ci-dessous.



Les culs-de-sac pourront être utilisés pour l'ouverture des caisses et la distribution des explosifs.

Chaque magasin ne sera en communication qu'avec une seule galerie de la mine, et cette communication, pour les magasins devant renfermer plus de 5 caisses, se fera

par deux entrées distinctes fermées seulement par des portes à claire-voie, de façon à assurer sa ventilation.

Chaque magasin sera distant d'au moins 200 mètres de toute porte d'aérage de la mine et, autant que possible, de 400 mètres des portes, dont la destruction pourrait supprimer toute ventilation dans la mine entière ou dans un de ses quartiers importants.

Paris, le 8 décembre 1898.

Le Rapporteur,
H. LE CHATELIER.

Adopté par la Commission des Substances explosives, dans sa séance du 8 décembre 1898.

Le Secrétaire,
LIOUVILLE.

Le Président,
BERTHELOT.

NOTE

SUR

LES MINERAIS DE FER

DES TERRITOIRES DES MEKNAS ET DES NEFZAS

(TUNISIE)

Par A. PROST, Ingénieur des Mines.

Le territoire des tribus des Nefzas et des Meknas, près de Tabarca en Tunisie, renferme des gisements de minerais de fer, exploitables en grande partie à ciel ouvert et connus comme tels depuis une date très ancienne.

Dès l'année 1873, M. l'Ingénieur en chef des mines Fuchs les visita au cours d'une mission officielle dont il fut chargé par le gouvernement de la Régence.

En 1881, au début de l'occupation française, alors même que le traité du Bardo n'était pas encore signé, la Compagnie de Mokta-el-Hadid entreprit l'étude de ces amas de minerais.

Peu après une société concurrente, constituée sous le nom de *Comité d'Études des mines de Tabarque*, obtint un permis de recherches sur une partie du territoire des Nefzas.

Ces explorations motivèrent, en 1884, l'institution de sept concessions de mines de fer; elles ont été inexploitées jusqu'ici; mais les raisons qui s'opposaient à leur mise en valeur semblent aujourd'hui avoir beaucoup perdu de leur ancienne importance, grâce aux progrès de la métallurgie et au développement de l'outillage économique de la Tunisie; l'attention des industriels se

trouve rappelée à l'heure actuelle sur les minerais de la région de Tabarca.

Chargé du service des mines de la Régence, de 1895 à 1898, j'ai été amené, à diverses reprises, à visiter ces gisements. Je me propose de les décrire succinctement dans la présente note.

I. — SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE DES GISEMENTS.

Les sept concessions de mines de fer de la région de Tabarca forment deux groupes (Pl. XVII).

L'un, dans la tribu des Meknas, ne comprend qu'une concession, celle de Ras-er-Radjel, entre les Oueds Berkoukech et Bou-Tarfeus, à 10 kilomètres à vol d'oiseau à l'Est de Tabarca.

L'autre groupe, dans le territoire des Nefzas, à 30 kilomètres à vol d'oiseau au nord-est de Tabarca, comporte les concessions de *Bou Lanague*, du *Djebel Bellif* et de l'*Oued bou Zenna*, entre l'Oued Zouara et ses affluents, l'Oued Bellif et l'Oued bou Zenna; celles de *Tamera* et de *Ganara*, entre l'Oued Bellif et l'Oued Damous; enfin celle de *Bourchiba*, sur la rive gauche de l'Oued Damous.

On trouvera, en annexe à la présente note (Pl. I), un extrait de la feuille de Tabarca de la carte de reconnaissance de la Tunisie, au 1/200 000e, avec l'indication des périmètres des concessions précédentes, et quelques données sur la constitution du sol d'après la carte géologique générale de la Régence de M. Aubert et d'après mes observations personnelles.

Les minerais de Tabarca sont formés d'un mélange d'hématite brune et d'hématite rouge manganésifères. L'oxyde anhydre est, par exception, à l'état de fer oligiste micacé dans plusieurs des lentilles de la concession de l'Oued bou Zenna.

Tout en présentant une allure générale interstratifiée, ces substances ne constituent pas une couche régulière et continue, mais bien des amas lenticulaires d'épaisseur et d'étendue variables. Ce sont d'ailleurs des conditions de gisement fréquentes pour les minerais de fer.

Les amas sont contenus dans une formation de grès argileux friables, mêlés d'argiles.

Le mur immédiat du minerai est formé le plus souvent d'une argile blanche ou bleuâtre, lamelleuse, qu'on retrouve également dans les intercalations qui existent parfois au milieu des gîtes.

En contre-bas, se développe par places, notamment dans les concessions de Bou Lanague, du Djebel Bellif et de Gannara, un conglomérat à gros éléments calcaires reliés par un ciment ferrugineux.

Cet ensemble de minerai, de grès, d'argiles, et accessoirement de conglomérats, est compris entre un étage marneux, au mur, et un étage gréseux, au toit.

Les marnes, épaisses d'une centaine de mètres, sont grises ou bleuâtres; elles contiennent des lamelles de gypse et de gros rognons de calcaire jaune et d'oxyde de fer.

Les grès, dont l'horizon géologique surmonte celui des minerais sont tantôt quartzeux, plus ou moins grossiers et très durs, tantôt argileux et friables. Ils constituent une puissante formation très développée dans le Nord de la Tunisie et de la province de Constantine, où elle est connue sous le nom de grès numidiens.

Tous ces terrains sans fossiles ont été rattachés par M. Aubert à l'éocène supérieur.

Grâce à sa résistance aux agents atmosphériques, le minerai de fer a pu subsister sur le couronnement des collines de marnes, en bordures des massifs de grès.

Tel est le cas du gisement de Ras-er-Radjel, au pied Nord du Djebel Gaffa. La plongée est ici vers le Sud.

C'est également dans ces conditions, mais avec une allure plus plateuse et un pendage de sens un peu variable que se présentent les gisements de Tamera, de Ganara. de Bourchiba, d'Oued bou Zenna et de Djebel Bellif. Ces lentilles de minerais reposent sur les marnes éocènes, au sommet d'un anticlinal sur les flancs duquel les érosions ont respecté les grès du Djebel el Harrech, au Sud-Est, et ceux du Djebel Daharoui et du Kef Kebir, au Nord-Ouest.

Dans la concession de Bou Lanague, les affleurements appelés Mokta-el-Hadid, à l'Ouest, plongent franchement au Nord, sous les grès du Kef Kebir; l'affleurement de Bou Lanague proprement dit, au centre de la même concession, forme, par suite d'un plissement local, une crête presque verticale.

La région des Meknas et Nefzas renferme d'autres formations géologiques sur lesquelles nous passerons rapidement.

Le quaternaire est composé, à l'Est, dans les fonds de vallée, par d'importantes alluvions argileuses; à l'Ouest près de la mer et sur la rive gauche de l'Oued Zouara, par des dunes élevées provenant de la désagrégation des grès numidiens.

En bordure, et même au milieu de ce quaternaire, des calcaires apparaissent à la faveur d'une faille Nord-Est: ils plongent nettement sous les marnes de l'éocène supérieur. Ils constituent les collines de l'Argoub bou Azine du Djebel bou Laya et du Koudiat Dzara. Ces calcaires, légèrement schisteux, à pâte grise, prenant une patine blanche au contact de l'air, ont été rattachés, par M. Aubert, à la base de l'éocène inférieur.

Enfin un pointement de trachyte émerge au milieu des marnes éocènes sur la rive droite de l'Oued Bellif, à moins d'un kilomètre en amont de son confluent avec l'Oued Damous.

L'émission des minerais de fer se rattache vraisembla-

blement à cette éruption trachytique. Les épanchements ferrugineux ne sont pas d'ailleurs les seuls gisements métallifères connus dans la région.

Au voisinage de Ras-er-Radjel, à Khedeira, Ali ben Khalifa et dans le Djebel Soussa, les grès numidiens contiennent des indices de plomb, avec quelques boules de calamine et plus accessoirement des mouches cuivreuses. Les recherches entreprises sur ces points n'ont pas abouti. Par contre, plus à l'Ouest, le beau filon de pyrite de cuivre et de galène de Kef-Oum-Téboul, dans les grès numidiens, entre la Calle et Tabarca, a pu faire l'objet d'une exploitation fructueuse.

En outre, au Sud des Nefzas, les îlots de crétacé supérieur figurés sur la Pl. XVII, contiennent de la calamine. On exploite actuellement ce minerai dans les calcaires sénoniens du Djebel Sidi Ahmed, ainsi qu'au Khanguet-Kef-Tout, sur le prolongement méridional du même massif crétacé.

II. — DESCRIPTION DES GISEMENTS.

La plus grande partie des travaux de recherches entrepris sur les gîtes de Nefzas et des Meknas, de 1881 à 1884, sont aujourd'hui effondrés ou inaccessibles. Heureusement il est facile de reconstituer les principaux résultats obtenus par ces diverses explorations, à l'aide du dossier de l'institution des concessions conservé dans les archives du Service des Mines de la Régence.

L'emplacement des affleurements et celui des travaux dont ils ont été l'objet sont figurés sur les plans-croquis de la planche XVIII, à l'échelle de 1/50000e.

1° Concession de Ras-er-Radjel. — Près de la crête du mamelon de Ras-er-Radjel, sur son versant Sud, un affleurement de minerai s'allonge dans une direction

E.-N.-E. sur environ 700 mètres de longueur (Pl. XVIII, *fig.* 1).

Le minerai se poursuit au-delà des extrémités de cet affleurement à l'Est et à l'Ouest ; mais les travaux faits dans ces deux régions ont constaté un amincissement rapide de la puissance du gite, et l'amont pendage au-dessus des thalwegs voisins est insignifiant.

Par suite de la position topographique et de l'allure stratigraphique de l'amas, l'affleurement présente une grande largeur. D'ailleurs, — et c'est une observation assez générale pour les gîtes de la région de Tabarca — l'affleurement est difficile à délimiter exactement, non seulement à cause de la présence de la terre végétale, mais encore à raison de l'éparpillement sur la surface du sol de nombreux blocs éboulés provenant de la désagrégation du gite.

Vers l'extrémité Est de l'affleurement, la descenderie n° 1, dans l'argile blanche, sur laquelle repose la couche, a suivi en couronne le minerai sur 40 mètres de longueur. Elle est aujourd'hui effondrée. Le gite avait 6 mètres d'épaisseur à l'entrée et s'est coincé à l'avancement. Mais l'étranglement du bas est local, car à 80 mètres en aval-pendage de l'entrée de la descenderie, le puits 3, après avoir traversé 25 mètres de grès tendres et d'argiles jaunes, a reconnu à la couche une épaisseur de 5 mètres.

Au centre de l'affleurement, le puits n° 1 (Pl. XVIII, *fig.* 2) et les travaux qui en dépendent sont déjà dans une partie plus renflée. Dans ce quartier, la partie supérieure de la couche est très manganésée.

La partie Ouest de l'affleurement est plus épaisse encore. Les puits 2 et 2 *bis* (Pl. XVIII, *fig.* 3) attaqués dans cette région ont été le point de départ d'un travers-bancs arrêté en plein gite, après avoir recoupé 17 mètres de minerai dur.

D'après les évaluations faites au moment de l'institution de la concession, en donnant au minerai en place une densité de 2,5 pour tenir compte de sa nature un peu caverneuse et des intercalations qu'il peut contenir, le gîte de Ras-er-Radjel contiendrait 1.200.000 tonnes exploitables à ciel ouvert. Il faut y joindre environ 600.000 tonnes que leur situation au-dessus du thalweg qui borde au Sud la colline de Ras-er-Radjel permettrait d'exploiter souterrainement par galeries, sans grandes dépenses d'aménagement général.

2° **Concession de Bourchiba** (Pl. XVIII, *fig*. 4). — La partie supérieure du plateau de Bourchiba entre l'Oued Damous et l'Oued Gasser, est formée sur 1 kilomètre de longueur, et 400 à 500 mètres de largeur, par une lentille de minerai faiblement recouverte au toit par de la terre végétale, et reposant au mur sur de l'argile blanche.

La plongée générale, très faible, est dirigée vers le Nord. Des îlots ou éboulis minéralisés de moindre importance se rencontrent sur les marnes du pourtour du plateau, surtout sur la pente Sud.

Sur la bordure Nord de l'affleurement, la descenderie n° 3, longue de 37 mètres, a suivi la couche suivant sa pente; elle montre sur toutes ses parois du minerai manganésé.

Un peu plus à l'Est, le puits 4 a recoupé du minerai sur 3 mètres de profondeur, puis de la terre mélangée de minerai.

Au centre du plateau de Bourchiba, le puits n° 1 a été entrepris dans une excavation qui semble correspondre à une exploitation ancienne. Sa profondeur est de 7 mètres, dont 3 seulement dans le minerai.

Sur la bordure Sud, le puits n° 2, profond de 9 mètres, est entièrement au minerai; la partie supérieure du gîte

est massive; la partie inférieure, plus tendre, est manganésée.

Enfin quelques tranchées, en divers points, ont simplement entamé l'affleurement.

Le minerai de fer couvre, avons-nous dit, une surface de 40 hectares; mais les travaux faits sont trop peu importants et trop espacés pour permettre un cubage même approximatif du gîte. Des lacunes peuvent exister sous la terre végétale et sous les blocs éboulés. D'autre part, les recherches résumées ci-dessus ont naturellement porté sur les parties du gisement présentant à l'affleurement les meilleures apparences, et il n'est pas possible d'appliquer d'emblée à l'ensemble de la lentille ferrugineuse la moyenne des puissances constatées par ces explorations.

Quoi qu'il en soit, Bourchiba contient une importante réserve de minerai.

3° **Concession de Tamera.** — A Tamera, l'allure du gisement est la même qu'à Bourchiba. Le minerai de fer, respecté par les érosions, forme, sur 1.000 à 1.200 mètres de long, et 300 à 400 mètres de large, la surface d'un plateau ondulé, ayant une très faible inclinaison du Nord vers le Sud.

La Compagnie de Mokta-el-Hadid et le Comité d'Études des Mines de Tabarca ont, par des recherches concurrentes, éparpillé sur ce plateau un très grand nombre de tranchées et de puits. Ces travaux ont recoupé en moyenne, de $1^{m},50$ à $2^{m},50$, et exceptionnellement de 5 à 6 mètres de minerai reposant sur des argiles blanches.

En admettant simplement une puissance moyenne de $1^{m},50$ et une densité de 2,5 pour le mètre cube en place, les 40 hectares du gîte de Tamera conduiraient à un cubage de 1.600.000 tonnes.

4° **Concession de Ganara.** — Le mamelon de Ganara a un couronnement de minerai qui semble occuper une longueur de 250 à 300 mètres et une largeur de 80 mètres.

Le puits n° 1, au centre de l'amas, a recoupé 9 mètres de minerai dont 3 ou 4 mètres à l'état de blocages. Il est arrêté dans l'argile du mur.

Le puits n° 2, à 125 mètres a l'Ouest, a traversé de même 4 mètres de blocage et 7 à 8 mètres de minerais massifs.

Le cubage de ce seul gîte donnerait, sur les bases adoptées pour les autres concessions, 400.000 tonnes.

A l'Est, sur les bords de l'Oued Damous, au milieu de roches blanchâtres et de poudingues plus ou moins minéralisés, se voient d'autres amas avec des vestiges d'anciennes exploitations.

A l'Ouest du gîte de Ganara, d'autres lentilles de minerais existent également ; elles se trouvent ici en relation avec des masses importantes de poudingues qui se poursuivent dans la région de Roumt-el-Oust, sur la rive gauche de l'Oued Bellif, entre la concession de Ganara et celle du Djebel Bellif.

5° **Concession de l'Oued bou Zenna.** — L'allure générale des gisements de la concession de l'Oued bou Zenna est tout particulièrement irrégulière. C'est une suite de lentilles de minerai, donnant un relief bien plus accidenté que celui des couronnements des plateaux de Bourchiba, Tamera et Ganara.

Les travaux faits sont franchement insuffisants, non seulement pour permettre un cubage de ces divers amas, mais même pour renseigner sur la puissance, l'allure e la composition exacte de chacun d'eux.

Le pointement le plus occidental a reçu le nom de Kef Deba n° 1. Les affleurements recouvrent un rectangle

de 300 mètres de long sur 100 mètres de large. La pente moyenne du gîte est vers le Nord-Est.

Une galerie dirigée Nord-Sud, longue de 80 mètres, a traversé horizontalement à quelques mètres du jour 6 mètres de fer oligiste micacé et au delà un mélange d'argile, d'oligiste et d'hématite.

Le Kef Deba n° 2 mesure 250 mètres de long sur 150 mètres de large; une galerie Sud-Nord a recoupé 4 mètres de minerai ordinaire, $0^m,50$ d'argile, $1^m,70$ de minerai oligiste, puis un mélange d'argile et d'hématite.

Le puits n° 2, entrepris sur des affleurements peu marqués couvrant à peu près 1 hectare, a traversé 3 à 4 mètres de minerai manganésé.

Le gîte Chouch Ouled Ahouimel, ou Gassem n° 3, dans lequel on a conduit la galerie dite du « Caroubier », longue de 29 mètres, est un mélange de calcaires argileux et d'oligiste.

Plus à l'Ouest, de gros blocs de minerais constituent l'affleurement d'un gîte appelé Chouch el Kraneb. Au delà encore, le puits n° 5 a pu recouper 4 mètres de minerai.

Enfin les poudingues se développent vers la fontaine d'Ain Abbès.

A 700 ou 800 mètres au nord de la ligne des affleurements précédents, au lieu dit « Djebel Brahim » apparait un autre amas de minerai. Un puits lui a reconnu une épaisseur de 6 mètres. Une galerie entreprise dans la même région, longue de 40 mètres, est restée sur toute sa longueur dans les argiles du mur; mais elle se termine par un montage dont l'avancement a percé au gîte.

6° **Concession du Djebel Bellif.** — Les affleurements du Djebel Bellif bordent la limite méridionale des grès numidiens de ce djebel. Ils plongent au Nord.

Un premier amas, dit du Kef Lassaoui, long d'environ

300 mètres et large de 80, va du puits 5 à l'ouest au puits 7 à l'Est. Dans la partie centrale on y trouve également le puits 6, ainsi que deux ouvrages, le puits 4 et la descente 1, qui, entrepris à la suite d'une fausse opinion qu'on s'était faite à l'origine sur le sens du pendage, sont restés le premier au mur et la seconde au toit de l'amas ferrugineux.

Le puits n° 5 a traversé sur 30 mètres de profondeur trois couches de minerai de belle qualité, de 2 à 2m,50 chacune. Les deux couches inférieures sont manganésées.

Le puits n° 6 a reconnu 4 mètres de minerai reposant sur des argiles blanches un peu pyriteuses, et cependant l'hématite dans ce quartier ne contient pas une proportion de soufre plus notable que dans les autres concessions.

Le puits 7 a traversé une couche de 3m,50 de puissance.

Les travaux des puits 6 et 7 n'ont pas été poussés assez profondément pour qu'il soit possible d'examiner si le minerai qu'ils ont traversé correspond à l'ensemble des trois couches du puits 5 ou seulement à la plus élevée de ces couches.

A l'Est du puits 7, les affleurements se voient jusqu'à la rive droite de l'Oued Bellif; sur la rive gauche, nous avons déjà dit qu'ils se poursuivent vers Ganara par les conglomérats de Roumt-el-Oust. Mais la largeur des affleurements dans le restant du Djebel Bellif semble plus réduite qu'au Kef Lassaoui, et les rares explorations faites n'établissent pas quelle est la puissance moyenne du minerai dans ce quartier.

Malgré l'insuffisance des recherches, on peut évaluer à environ 500.000 tonnes le tonnage exploitable à ciel ouvert dans le Djebel Bellif.

7° **Concession de Bou Lanague.** — La concession de Bou Lanague contient deux groupes de gisements, séparés par

un ravin, l'amas de Bou Lanague à l'Est et les amas de Mokta-el-Hadid, à l'Ouest.

Le premier de ces gîtes, presque vertical, forme une crête saillante, à partir du ravin de Bou Lanague, dans la direction du Nord-Est. A 120 mètres du ruisseau, l'affleurement atteint son maximum d'épaisseur et semble dépasser 30 mètres ; mais sa largeur diminue rapidement pour se tenir à 8 mètres sur 350 mètres de longueur et enfin à une moyenne de 4 mètres sur 250 mètres au delà.

Puis on ne voit plus que des poudingues faiblement minéralisés sur lesquels reposent des amas de minerai beaucoup moins importants que celui dont il vient d'être question.

Ce dernier a été quelque peu exploré souterrainement ; dans sa région centrale, un puits de 18 mètres de profondeur, improprement appelé descente n° 1, a suivi le toit du gisement. Du pied de cet ouvrage, une recoupe, allant du toit au mur, a reconnu que le gîte conservait la même puissance qu'à l'affleurement, soit 8 à 9 mètres.

Puis, à 150 mètres plus près du ravin de Bou Lanague, un travers-bancs, au mur du gîte, a atteint celui-ci à 76 mètres du jour et à 20 ou 30 mètres au-dessous de l'affleurement ; la puissance, dans la traversée de la galerie est irrégulière et ne dépasse pas 5 mètres comme maximum. Le minerai repose sur des argiles grises, puis sur des grès et des poudingues.

Dans le toit du gisement on voit enfin l'amorce d'un travers-bancs destiné à venir à la rencontre du précédent pour aérer les travaux de reconnaissance qu'on se proposait de conduire à ce niveau ; mais cet ouvrage fut arrêté à 18 mètres du jour, avant d'avoir atteint le gîte ; il n'a traversé que des argiles grises.

D'après les études de la surface, on pourrait admettre que le gîte de Bou Lanague, malgré son allure presque verticale, contiendrait environ 600.000 tonnes de minerai

exploitable à ciel ouvert. Les évaluations relatives au minerai exploitable en galerie manquent de base sérieuse.

A Mokta-el-Hadid, sur le versant Sud du Kef Kébir, la disposition des gîtes est différente de celle des autres amas de la région de Tabarca (Pl. XVIII, *fig.* 5). Ils affleurent sur la pente du Djebel Bellif.

L'examen de la surface avait laissé croire tout d'abord à de belles épaisseurs de minerai; mais une descente, longue de 19 mètres, dans le gîte B, le puits n° 3 qui a traversé l'affleurement C et le puits 1, sur l'affleurement D, n'ont trouvé à chacun de ces trois gisements qu'une puissance de 2 mètres. Rien n'a été fait sur le gisement A.

En direction, les affleurements ne se suivent que sur une faible longueur au milieu de la terre végétale, et cette circonstance laisse craindre que les chapelets auxquels ils se rapportent ne manquent de continuité.

En un mot, il est impossible, dans l'état actuel des recherches, de se faire une opinion sur l'importance industrielle des gîtes du quartier de Mokta, dans la concession de Bou Lanague.

III. — RÉSULTATS D'ANALYSES.

Les analyses par voie sèche, qui ont été communiquées au Service des Mines, par le laboratoire de la Compagnie de Mokta, à Bône, concernant les gisements étudiés par cette Compagnie, se résument ainsi :

	NOMBRE D'ANALYSES communiquées au service des Mines	RENDEMENTS POUR 100 EN FONTE		
		Maximum	Minimum	Moyenne
Ras-er-Radjel..............	7	56,87	51,47	55,284
Choucha (Tamera)...........	7	60,27	43,37	56,123
Ganara.....................	4	62,30	54,87	58,60
Bou Lanague................	7	58,65	45,65	54,163
Mokta el Hadid.............	7	54,95	46,80	51,877

M. l'Ingénieur Willmotte, d'autre part, a bien voulu me communiquer les résultats suivants provenant d'échantillons prélevés par lui, en novembre 1897, et qui ont principalement porté sur les concessions du Comité d'Études, savoir :

TABLEAU I.

Provenance des échantillons.

I. *Concession de Bourchiba.* — Descenderie 3.
II. *Concession de Bourchiba.* — Puits 4.
III. *Concession de Bourchiba.* — Tranchée à l'ouest de l'affleurement.
IV. *Concession de Tamera.* — Échantillon exceptionnellement irisé, riche en arsenic.
V. *Concession de l'Oued bou Zenna.* — Kef Deba n° 1, fer oligiste tendre.
VI. *Concession de l'Oued bou Zenna.* — Kef Deba n° 1, hématite dure.
VII. *Concession de l'Oued bou Zenna.* — Puits n° 2 *bis*.
VIII. *Concession de Bou Lanague.* — Bou Lanague. Descenderie n° 1.
IX. *Concession de Bou Lanague.* — Mokta. Affleurement supérieur.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Fe.........	47,70	44,85	57,80	53,30	69,40	49,50	49,00	56,30	49,45
SiO^2.......	12,47	21,50	4,05	6,75	5,20	13,50	17,05	10,50	7,28
Ph.........	0,010	0,015	0,016	0,044	0,02	0,027	0,01	0,026	0,014
Mn.........	3,44	1,90	0,80	0,12	traces	0,48	1,26	0,55	2,07
CaO........	traces	0,17	0,20	0,60	0,08	0,70	traces	0,63	0,10
S..........	0,14	0,28	0,14	0,75	0,18	0,46	0,15	0,29	0,22
Arsenic.....	traces	0,066	0,033	0,65	0,033	0,066	0,108	traces	0,22

Enfin, en 1891, le Service des Mines procéda, en présence des représentants des concessionnaires, aux prises d'échantillons ci-dessous, qui ont été suivies d'analyses complètes :

TABLEAU II.

Provenance des échantillons.

I. *Ras Radjel.* — Puits n° 1.
II. — Puits n° 2.
III. — Recherches à l'Est de l'affleurement principal.
IV. *Ras Radjel.* — Recherches à l'Est de l'affleurement principal.
V. *Bourchiba.* — Descenderie n° 3.
VI. *Tamera.* — Quartier de Choucha. Puits !.
VII. — Puits 1 et 2.
VIII. — Tranchées à l'Est.
IX. — Quartier de Sidi-Drissi.
X. — Puits voisin d'Aïn Kerma.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Eau de combinaison. Acide carbonique.	15,150	9,55	5,65	10,50	15,75	7,00	12,80	12,45	11,20	11,70
Silice.	7,90	5,20	3,10	1,90	4,10	4,30	3,70	5,80	2,90	6,20
Alumine.	1,10	1,70	1,10	0,70	1,60	1,20	0,80	0,70	1,10	1,30
Chaux	0,40	0,20	0,20	0,30	1,90	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50
Magnésie (non dosée)										
Peroxyde de fer.	62,26	74,76	77,96	82,33	62,86	81,40	80,43	74,76	80,86	74,76
Oxyde de manganèse.	10,72	7,22	10,55	0,91	12,15	0,097	0,53	4,86	1,03	3,78
Acide sulfurique.	0,46	0,39	0,275	0,192	0,035	0,075	0,137	0,025	0,095	0,062
Acide phosphorique.	0,080	0,067	0,019	0,707	0,100	0,041	0,097	0,048	0,141	0,104
Oxyde de cuivre.	traces	fortes traces	0,027	0,007	traces	traces	0,006	traces	0,019	0,075
Acide arsénique.	0,023	0,272	0,046	0,795	0,100	traces	0,532	0,020	0,620	traces
Antimoine.	0,00	0,00	0,02	0,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000
TOTAL.	98,093	99,359	98,947	99,421	98,595	100,313	99,232	98,963	98,515	98,481
Fer métal.	43,59	52,33	54,57	58,33	44,00	61,17	56,30	52,33	56,60	52,23
Manganèse métal.	7,72	5,20	7,60	0,66	8,75	0,07	0,38	3,50	0,74	2,72
Soufre.	0,185	0,155	0,110	0,077	0,014	0,03	0,055	0,01	0,038	0,025
Phosphore.	0,035	0,029	0,008	0,310	0,044	0,019	0,042	0,021	0,062	0,046
Cuivre.	traces	fortes traces	0,022	0,006	traces	traces	0,005	traces	0,015	0,060
Arsenic.	0,015	0,177	0,03	0,516	0,065	traces	0,348	0,013	0,404	traces
Antimoine.	0,00	0,00	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00

Provenance des échantillons.

XI. *Ganara.*
XII. — Tranchées sur les affleurements.
XIII. *Oued bou Zenna.* — Affleurement du Kef Deba n° 1.
XIV. *Oued bou Zenna.* — Galerie du Kef Deba n° 1.
XV. *Oued bou Zenna.* — Puits n° 2 *bis.*
XVI. *Djebel Bellif.* — Kef Lassaoni.
XVII. *Bou Lanague.* — Descente n° 1, de Bou Lanague.
XVIII. *Bou Lanague.* — Affleurements de Bou Lanague, près du ruisseau.
XIX. *Bou Lanague.* — Mokta. Affleurements du puits n° 1.
XX. *Bou Lanague.* — Mokta. Affleurements du puits n° 4.

	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
Eau de combinaison. Acide carbonique.	11,53	13,60	13,00	12,25	11,45	11,75	10,00	11.40	9,60	9,90
Silice	1,90	3,30	3,20	3,10	5,30	4,80	4,20	3,50	6,20	6,20
Alumine	0,80	0,80	0,80	0,90	1,90	0,60	2,00	2,10	2,00	1,60
Chaux	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,30	0,20	0,60	0,20	0,20
Magnésie (non dosée)										
Peroxyde de fer	83,18	78,38	68,97	74,76	67,64	79,11	82,74	81,00	95,04	76,94
Oxyde de manganèse	1,07	2,25	12,57	7,58	11,53	1,22	traces	0,71	5,00	2,97
Acide sulfurique	0,05	0,087	0,035	0,033	fortes traces	0,375	0,437	0,375	0,18	0,095
Acide phosphorique	0,220	0,156	0,022	0,056	0,089	0,082	0,130	0,097	0,037	0,048
Oxyde de cuivre	0,006	traces	traces	0,006	traces	traces	0,009	fortes traces	fortes traces	0,011
Acide arsénique	0,488	0,078	0,009	0,046	0.011	0,092	0,130	0,237	0,035	0,009
Antimoine	0,020	0,000	traces	0,000	fortes traces	0,000	0,000	0,000	0,045	0,000
TOTAL	99,484	98,851	8,806	98,931	98,420	98,329	99,846	100,019	98,337	97,973
Fer métal	58,23	54,87	48,28	52,33	47,35	55,38	57,92	56,70	52,52	53,86
Manganèse métal	0,77	1,62	9,05	5,46	8,30	0,88	traces	0,50	3,60	2,14
Soufre	0,02	0,035	0,014	0,013	fortes traces	0,150	0,175	0,150	0,072	0.038
Phosphore	0,096	0,068	0,010	0,024	0,039	0,036	0,057	0,042	0,016	0,021
Cuivre	0,005	traces	traces	0,005	traces	traces	0,007	fortes traces	fortes traces	0,009
Arsenic	0,318	0,05	0,006	0,030	0,007	0,06	0,084	0,155	0,022	0,006
Antimoine	0,02	0,00	traces	0,00	fortes traces	0,00	0.00	0,00	0,043	0,00

Les minerais de la région des Nefzas et des Meknas sont des minerais siliceux, partiellement hydratés.

Leurs teneurs en fer et manganèse, après un triage convenable, se tiennent facilement au-dessus de 55 p. 100,

surtout dans les concessions de Ras-er-Radjel, de Ganara et de Tamera, et dans le gîte de Bou Lanague. Les oligistes micacés de l'Oued bou Zenna dépassent ce chiffre. Par contre, les teneurs des minerais de Bourchiba et ceux du gîte de Mokta-el-Hadid dans la concession de Bou Lanague sont, parfois, au-dessous de 55 p. 100.

La proportion de manganèse est tout particulièrement élevée à Ras-er-Radjel, notamment à la partie supérieure de l'amas de cette concession dans la région du puits 1. L'analyse ci-dessous communiquée par la Cie de Mokta et concernant un échantillon exceptionnellement manganésé de cette partie du gîte de Ras-er-Radjel, est intéressante à ce point de vue.

Eau	12,231
Silice	1,155
Baryte	5,477
Peroxyde de fer	30,021
Peroxyde de manganèse	45,440
Chaux	0,510
TOTAL	94,834

Teneurs p. 100	
Fer métal	21,01
Manganèse métal	28,72

Les minerais de la région de Tabarca sont presque aussi exempts de phosphore que ceux de Mokta, de la Tafna, de Bilbao. Comme richesse en fer, ils sont inférieurs à ceux de Mokta et de la Tafna; mais ils supporteraient la comparaison avec la plupart des minerais de Bilbao.

La présence de l'arsenic dans ces minerais est la circonstance qui, jusqu'à ce jour, a arrêté les tentatives faites pour leur mise en valeur. A vrai dire, la proportion de ce métalloïde est variable et souvent faible. La loi de sa distribution dans les gîtes n'a pas été étudiée. En outre, sur ce point comme sur tous les autres, les analyses ci-dessus n'ont porté que sur des échantillons pris dans des recherches sans étendue. Il n'a jamais été fait, croyons-

nous, d'expédition de minerais en quantité suffisante pour permettre d'assigner à tel ou tel amas des Nefzas et des Meknas, d'après les résultats obtenus aux usines, une teneur moyenne en arsenic bien définie au point de vue industriel.

IV. — SITUATION ADMINISTRATIVE ET ÉCONOMIQUE DES GITES DE TABARCA.

Situation ancienne. — Après l'exécution des travaux de recherches résumés ci-dessus, l'Administration du Protectorat partagea les gisements des Meknas et des Nefzas entre les deux sociétés qui en avaient entrepris l'exploration.

Par convention du 1er mars 1884, la société des minerais de fer magnétiques de Mokta-el-Hadid reçut les concessions de Ras-er-Radjel, de Bou Lanague, du Djebel Bellif et de Ganara, telles qu'elles sont délimitées sur le plan joint à la présente note. La même convention imposait au concessionnaire la construction et l'exploitation, pendant quatre-vingt-dix-neuf ans, sans subvention ni garantie : 1° d'un chemin de fer à voie de 1 mètre, entre les Nefzas et Tabarca, par Ras-er-Radjel ; 2° d'un port à établir dans la baie de Tabarca.

Par convention du 26 mars 1884, le Comité d'Études des mines de Tabarque obtint les concessions de Tamera, de Bourchiba et de l'Oued bou Zenna, à charge de construire et d'exploiter dans les mêmes conditions que ci-dessus : 1° un chemin de fer partant du cap Serrat et se reliant, aux Nefzas, à celui de la compagnie de Mokta-el-Hadid; 2° un port à établir dans la baie du cap Serrat.

Les cahiers des charges des concessions de mines calquent les dispositions de la législation minière française, avec cette addition, toutefois, que si, à partir du 13 octobre 1887, l'extraction annuelle restait pendant

trois années consécutives inférieure à 50.000 tonnes, les concessionnaires encourraient la déchéance, sauf le cas de force majeure.

La région des Meknas et des Nefzas est une des plus pourvues d'eau de la Tunisie. Les vallées y sont très propres à la culture et à l'élevage, les montagnes sont couvertes de belles forêts de chênes-lièges et de chênes zeen, qui, dans ces régions, ne sont guère utilisés que pour la récolte du liège et du tannin, à raison du coût des transports. L'Administration du Protectorat avait ainsi naturellement songé à profiter des concessions accordées aux deux Compagnies rivales pour exiger de chacune d'elles l'ouverture dans ce beau territoire, d'une voie de pénétration et d'un port d'expédition.

Malheureusement, à la fin de la période des recherches, la Cie de Mokta, en procédant à l'analyse complète des minerais de fer tunisiens, venait de s'apercevoir enfin de la présence de l'arsenic dans ces substances, inconvénient ignoré jusqu'alors.

De plus elle commençait, à la même époque, l'étude du gite de la Tafna, qui lui donna, au point de vue de la qualité des minerais, des résultats plus satisfaisants que ceux de la région de Tabarca.

D'un autre côté, l'extension que la déphosphoration commençait à prendre, en 1884, réduisait singulièrement le marché qui, désormais, restait libre pour les minerais riches et exempts de phosphore. Par surcroit, l'activité avec laquelle se développaient les exploitations de Bilbao amenait une dépréciation notable de la valeur marchande des minerais riches.

A raison de la nature un peu arsénicale des hématites tunisiennes, les deux concessionnaires ne pouvaient, dès lors, trouver des débouchés annuels suffisants pour couvrir les frais d'exploitation, ainsi que l'intérêt et l'amortissement des dépenses de construction de deux lignes fer-

rées de 40 kilomètres chacune et de deux ports dont le coût d'établissement était évalué pour chacun d'eux à un minimum de 2 millions.

Les travaux publics imposés aux concessionnaires, et dont l'exécution devait forcément précéder la mise en valeur des concessions, ne reçurent pour ces divers motifs pas le moindre commencement d'exécution.

En présence d'une semblable situation, l'Administration tunisienne aurait eu mauvaise grâce à user de la clause de déchéance inscrite au cahier des charges des mines; elle prit en considération l'importance des sacrifices pécuniaires faits par les deux Compagnies pendant la période des recherches et voulut bien fermer les yeux sur cette inaction.

Situation actuelle. — Aujourd'hui les conditions de vente sont toujours médiocres. La tonne d'un minerai de fer dont la teneur dépasse 50 p. 100 en métal ne se vend guère à l'usine qu'à raison de 0 fr. 30 par unité de teneur p. 100 en fer, et 0 fr. 60 par unité de manganèse. Les minerais tunisiens auraient ainsi à l'usine une valeur d'environ 18 francs.

Par contre, le marché offert aux minerais riches semble devoir s'ouvrir. Actuellement, en présence d'une reprise de l'industrie métallurgique, les usines à fer se préoccupent assez vivement de la baisse considérable des extractions de Bilbao qui est un grand centre de production des minerais à haute teneur.

Les mêmes usines acceptent, en outre, avec moins de difficultés qu'autrefois les minerais arsénicaux dont elles savent aujourd'hui tirer un parti convenable.

Au point de vue des débouchés, la situation des gîtes de la région de Tabarca est donc moins mauvaise que par le passé.

Il en est de même au point de vue des expéditions. En

effet, tout au moins les plus orientaux des gîtes des Nefzas, ceux de Tamera, Ganara et Bourchiba, ne sont guère qu'à 100 kilomètres du grand port de Bizerte, capable aujourd'hui de recevoir les navires du plus fort tonnage. Les minerais de fer y obtiendraient un fret économique sur les ports de l'Europe, en s'adressant aux gros navires charbonniers dont beaucoup regagnent en ce moment l'Angleterre sur lest. Bien plus, ce port est dans une situation géographique des plus avantageuses pour rivaliser comme dépôt de charbon avec Malte et Alger, et l'obtention de ce résultat, qui intéresse au plus haut point la défense nationale, serait grandement facilitée si les charbonniers trouvaient à Bizerte même un chargement de retour.

C'est pourquoi l'opinion commence à s'occuper, en Tunisie, d'un tracé de chemin de fer qui, par la vallée de l'Oued Sedjenane, gagnerait sans difficulté la région des Nefzas et amènerait à Bizerte, non seulement les matières minérales qui nous occupent, mais encore les autres produits agricoles ou forestiers que nous avons déjà mentionnés.

Si cette combinaison se réalise, une nouvelle tentative de mise en exploitation des gîtes des Nefzas n'aurait plus à s'occuper des énormes immobilisations d'argent nécessaires à la création d'un chemin de fer et d'un port spéciaux à l'entreprise; du même coup elle se trouverait affranchie de la nécessité d'arriver, dès l'origine à la grosse extraction annuelle capable de supporter les intérêts d'un pareil capital.

Sans doute cet avantage ne serait acquis qu'au prix d'un notable accroissement de parcours sur rails. Cet accroissement ne semble cependant pas tel qu'il écrase irrémédiablement le prix de revient du minerai rendu à Bizerte.

Les frets de Bizerte pour les ports de l'Atlantique

sont d'environ 9 francs. Si les métallurgistes consentent enfin à ne plus prendre en considération l'existence de l'arsenic dans les minerais de Tunisie, ceux-ci, payés 18 francs à l'usine, d'après les tarifs habituels, vaudraient ainsi environ 9 francs à Bizerte. Il semble, d'autre part, que le prix de revient à la mine des parties de gisement exploitables à ciel ouvert sans grands travaux de découverte puisse se tenir aux environs de 2 fr. 50. Il resterait, par tonne, une marge de 6 fr. 50, suffisante pour réserver un bénéfice à l'exploitation, après le prélèvement des frais de transport sur 100 kilomètres de voie ferrée.

Aussi l'attention des industriels se trouve aujourd'hui rappelée sur les gîtes tunisiens.

Une Société française, dite « Société anonyme des minerais de fer des Nefzas, Tunisie », possède actuellement les droits de l'ancien Comité d'Études des mines de Tabarca. Les membres de cette Société sont disposés à aider dans la mesure de leurs moyens l'étude d'une voie ferrée des Nefzas à Bizerte.

Préalablement, ils ont déposé, le 1er mars 1898, une demande de modification de la convention de concession, avec suppression de la charge imposée au concessionnaire, concernant le chemin de fer et le port du cap Serrat. Cette demande a reçu, de la part du Gouvernement tunisien, une solution favorable.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ALLEMAGNE ET DU LUXEMBOURG EN 1898 (*).

	PRODUCTION	VALEUR sur place	PRIX moyen
Substances minérales.			
	tonnes	francs	fr. c.
Combustibles minéraux. Houille..	96.279.992	876.616.077	9,07
Combustibles minéraux. Lignite..	31.648.498	90.232.155	2,85
Minerai asphaltique	67.649	512.096	7,57
Pétrole	25.789	1.941.196	75,27
Graphite	4.593	481.747	104,88
Minerai de fer	10.544.295	61.083.384	5,79
— de zinc	641.706	27.118.149	42,26
— de cuivre	702.781	24.212.067	34,45
— de plomb	151.601	16.787.671	110,73
— d'étain	51	17.468	342,51
— de cobalt, nickel et bismuth.	3.157	681.640	215,91
— d'urane et de wolfram	50	56.715	1.134,30
— de manganèse	43.354	549.988	12,68
— d'arsenic	3.540	257.879	72,84
— d'or et d'argent	12.413	1.656.351	133,43
Pyrites de fer	136.849	1.193.535	8,72
Sel	1.370.341	19.457.337	14,20
Minerai de fer (Luxembourg)	5.348.951	13.711.239	2,56
Métaux.			
Fonte	6.366.901	414.240.743	65,06
Fer et acier puddlés	1.143.010	190.657.031	166,80
Fer et acier fondus	5.734.307	864.630.997	150,78
Zinc	152.506	71.123.146	466,36
Cuivre	30.695	40.255.941	1.311,48
Plomb	132.742	42.093.583	317,10
Litharge	3.857	1.306.242	338,67
Etain	993	1.831.483	1.844,40
Antimoine et manganèse	2.711	1.490.230	549,70
Nickel, cobalt, bismuth, etc	1.691	7.209.050	4.263,18
Cadmium	15	153.320	10.221,33
Arsenic	2.679	1.247.828	465,78
	kilogr.		
Or	2.847	9.733.494	3.418,86
Argent	480.578	46.932.675	97,66
	tonnes		
Fonte (Luxembourg)	849.026	46.151.412	54,36

(*Extrait de la* Statistik des Deutschen Reichs, 2e vol. 1899.)

(*) Renseignements provisoires.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1899 (*).

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BARBARIN (P.). — Notions complémentaires sur les courbes usuelles. In-8°, 47 p. avec fig. Paris, Nony et Cie. (5070)

CANTOR (G.). — Sur les fondements de la théorie des ensembles transfinis. Traduction de *F. Marotte*. In-8°, 98 p. Paris, Hermann (Extr. des *Mém. de la Soc. des sciences phys. et nat. de Bordeaux*). (5090)

GUION (L.). — Carré égal au cercle (supplément à la géométrie). In-8°, 12 p. avec fig. Nîmes, impr. la Laborieuse. (398)

GUYOT (E.). — Simple exposé des relations à établir entre les équations et leurs racines. In-8°, 84 p. Paris, impr. Lahure. (938)

MAILLET (E.). — Recherches sur la classe et l'ordre des groupes de substitutions. In-4°, 121 p. Paris, Impr. nationale (*Mém. présentés par divers savants à l'Acad. des Sciences*). (4657)

POINCARÉ (H.). — Théorie du potentiel newtonien. Leçons professées à la Sorbonne pendant le premier semestre 1894-1895, par *H. Poincaré*, membre de l'Institut. Rédigées par *Edouard Le Roy*, docteur ès sciences, et *Georges Vincent*, agrégé-préparateur à l'École normale supérieure. In-8°, 370 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (488)

SAINT-LOUP. — Note sur les carrés magiques. In-8°, 10 p. avec fig. Besançon, impr. Jacquin. (5728)

(*) Les numéros qui figurent à la suite de chaque ouvrage sont ceux sous lesquels ces ouvrages sont respectivement inscrits dans la Bibliographie française et dans les Bibliographies étrangères.

2° *Physique et Chimie.*

Barbillion (M.-L.). — Sur la dispersion électrique (thèse). Gr. in-8°, 139 p. et planches. Paris, Carré et Naud. (1415)

Belugou (G.). — De quelques propriétés des acides alcoylphosphoriques. In-8°, 46 p. Montpellier, impr. Hamelin frères. (311)

Blanc (G.). — Étude de l'acide isolauronolique; Constitution de l'acide camphorique, du camphre et de ses dérivés (thèse). In-8°, 127 p. Paris, Gauthier-Villars. (3568)

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1896 par les ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux. In-8°, 11 p. Paris, Ve Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (5086)

Carnot (A.). — Sur de nouvelles méthodes d'analyse minérale. In-8°, 103 p. Paris, Ve Dunod (Extr. du même recueil). (67)

Carnot (A.) et Goutal. — Emploi des sels cuivriques pour l'analyse des fontes et des aciers. In-8°, 16 p. Paris, Ve Dunod (Extr. du même recueil). (68)

Carvallo. — Sur les cycles irréversibles et le théorème de Clausius. In-8°, 4 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (6374)

Cauro (J.). — Mesures sur le microphone (thèse). In-8°, 66 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (4544)

Delépine (M.). — Composés endothermiques et exothermiques. In-8°, 118 p. Coulommiers, impr. Brodard. (5842)

Deuxième supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée d'Ad. Wurtz, publié sous la direction de *Ch. Friedel*, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, et collaborateurs. T. IV. Fascicules 33 à 36. In-8° à 2 col., p. 161 à 480. Paris, Hachette et Cie. Chaque fascicule 2 fr. (6171)

Duhem (P.). — Traité élémentaire de mécanique chimique fondée sur la thermodynamique. T. IV : les Mélanges doubles ; Statique chimique générale des systèmes hétérogènes. In-8°, 387 p. avec fig. Paris, Hermann. (6440)

Granger (A.). — Les Phosphures métalliques. In-8°, 12 p. Paris, Carré et Naud (Extr. des *Actualités chimiques*). (1744)

Hannequin (A.). — Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine. 2e édition. In-8°, 461 p. Paris, F. Alcan. 7f,50. (6486)

Lafay (A.). — Sur la polarisation de la lumière diffusée par le

verre dépoli (thèse). In-4°, 60 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (1516)

Lippmann (G.). — Unités électriques absolues. Leçons professées à la Sorbonne par M. *G. Lippmann*, membre de l'Institut. Rédigées par M. *A. Berget*, docteur ès sciences. In-8°, II-244 p. avec fig. Paris, Carré et Naud. (438)

Neyreneuf. — Tuyaux sonores coniques. In-8°, 8 p. Caen, impr. Delesques (Extr. des *Mém. de l'Acad. nat. des sciences, arts et belles-lettres de Caen*). (1800)

Perot (A.) et C. Fabry. — Sur un voltmètre électrostatique interférentiel pour étalonnage. In-8°, 11 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (1035)

Riban (J.). — Traité d'analyse chimique quantitative par électrolyse. Gr. in-8°, VI-304 p. avec 96 fig. Paris, Masson et Cie. (3318)

Sagnac (G.). — Transformations des rayons X par la matière. In-8°, 27 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (4178)

Schürr (J.). — Résistance électrique et Coefficient de self-induction. In-8°, 7 p. Tours, impr. Deslis frères. (1079)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Carte géologique détaillée de la France, à l'échelle de 1/80.000. Feuille n° 125 : Beaune. Feuille 169 ter : Tignes. Paris, impr. et grav. Erhard frères. (29-303)

—— Feuille n° 190 : Aiguilles. (La carte est accompagnée d'une notice explicative.) Paris, impr. Lemercier et Cie; grav. et chromolith. L. Wuhrer. 1f,50. (247)

Chantre (E.). — L'Age de la pierre dans la Haute-Égypte, d'après les plus récentes découvertes. In-8°, 12 p. Lyon, impr. Rey. (3087)

Chauvet (G.). — Silex taillés du Nil et de la Charente (comparaisons). In-8°, 15 p. Angoulême, impr. Chasseignac. (Extr. du *Bull. de la Soc. archéol. et histor. de la Charente*). (1691)

Collard (G.). — Notice sur l'âge de pierre en Europe, suivie de quelques considérations sur l'âge de bronze, les habitations lacustres et les monuments mégalithiques. Ouvrage illustré de 16 pl. contenant 40 fig. dessinées par l'auteur. In-16, 14 p. et 16 pl. Auch, impr. Capin. 0f,75. (6402)

Cossmann. — Essais de paléoconchologie comparée. 3e livraison.

Grand in-8°, 223 p. avec fig. Paris, l'auteur, 95, rue de Maubeuge; Comptoir géologique, 53, rue Monsieur-le-Prince. Les trois premières livraisons, ensemble, 55 fr. (5380)

DUPARC (L.) et L. MRAZEC. — Recherches géologiques et pétrographiques sur le massif du mont Blanc. In-4°. 227 p. Paris. 32 fr.

FOURNIER (E.). — Le Dôme de la Grésigne (Feuille de Montauban). In-8°, 10 p. avec 2 fig. Paris, Baudry et Cie (*Bull. des services de la carte géol. de la France et des topographies souterraines*). (4881)

FRIEDEL (C.) et E. CUMENGE. — Sur un nouveau minerai d'urane. In-8°, 4 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie*). (5169)

GAILLARD (C.). — Mammifères miocènes nouveaux ou peu connus de la Grive-Saint-Alban (Isère). Gr. in-4°, 86 p. et planches. Lyon, Rey et Cie (Extr. des *Archives du Muséum d'hist. nat. de Lyon*). (2316)

GAUBE (J.). — Cours de minéralogie biologique. 2e série. In-18 jésus, 382 p. Paris, Maloine. (2827)

GRAMONT (A. de). — Analyse spectrale des minéraux non conducteurs par les sels fondus. In-8°, 40 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie*). (139)

HELLOZ. — Guide-Manuel du collectionneur de silex préhistoriques, avec tarif indiquant la valeur des haches, pointes, grattoirs, etc., selon leurs formes et dimensions, d'après les prix moyens constatés dans de nombreuses transactions. In-16, 30 p. Tonnay-Charente, impr. Lancement-Martineau. 1 fr. (5187)

JADIN (F.). — Précis d'hydrologie et de minéralogie. In-16, III-499 p. avec fig. et cartes. Lyon, Storck et Cie. (5910)

JOURON (L.). — Les Ateliers préhistoriques de la montagne d'Avize. In-8°, XIX-263 p. avec 1 carte et 11 planches. Avize (Marne), Lamasse. (6231)

KILIAN (W.) et J. RÉVIL. — Description géologique de la vallée de Valloire (Savoie) et de quelques massifs adjacents. In-8°, 23 p. et planches. Chambéry, Impr. nouvelle (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. de Savoie*). (3203)

LAPPARENT (A. de). — Cours de minéralogie. 3e édition, revue et corrigée, avec 619 gravures dans le texte et 1 planche chromolithographiée. In-8°, XX-703 p. Paris, Masson et Cie. (3689)

Liste des minéraux, roches et fossiles dont la connaissance est exigée aux épreuves pratiques des certificats d'études supérieures de minéralogie et de géologie. In-8°, 48 p. Besançon, impr. Jacquin. (4132)

Nivoit (E.). — Cours de géologie. 2e édition. Phénomènes d'origine externe; Phénomènes d'origine interne; Formation de l'écorce du globe; Roches ignées; Roches sédimentaires; Filons; Métamorphisme; Mouvements anciens de l'écorce terrestre; Notions sommaires sur les fossiles, etc., etc. In-8°, xii-615 p. et carte géologique de la France. Paris, Baudry et Cie. (471)

Renault (B.). — Notice sur les Calamariées (suite) (troisième partie). In-8°, 60 p. avec fig. et planches. Autun, impr. Dejussieu père et fils (Extr. du *Bull. de la Soc. d'hist. nat. d'Autun*). (3756)

Révil (J.). — Notice sur les travaux géologiques relatifs à la Savoie de Gabriel de Mortillet, lecture faite à la Société d'Histoire naturelle de Savoie. In-8°, 15 p. Chambéry, Impr. nouvelle. (3316)

Roux (J.-A.-C.). — Études géologiques sur les monts lyonnais (2e suite). In-8°, 56 p. Lyon, impr. Rey et Cie (Extr. des *Annales de la Soc. linnéenne de Lyon*). (2406)

Sauvage (H.-E.). — Le Mammouth dans la partie sud de la mer du Nord. Pet. in-8°, 11 p. Boulogne-sur-Mer, impr. Hamain. (2660)

Seignette (A.). — Conférences de géologie. Ouvrage conforme aux nouveaux programmes du 20 août 1898, à l'usage des classes de seconde (classique) et de troisième (moderne). In-16, 173 p. avec 177 fig. et une carte géologique en couleurs. Paris, Hachette et Cie. 1f,50. (1841)

Termier (P.). — Sur une variété de zoïzite des schistes métamorphiques des Alpes et sur les propriétés optiques de la zoïzite classique. In-8°, 23 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie*). (1101)

Vélain (C.). — Cours élémentaire de géologie stratigraphique. 5e édition, revue et corrigée, avec une étude détaillée de la France, accompagnée d'une carte géologique et de 435 gravures dans le texte. In-16, 576 p. Paris, Masson et Cie. 5 fr. (5565)

Wallerant (F.). — Théorie des anomalies optiques de l'isomorphisme et du polymorphisme, déduite des théories de MM. Mallard et Sohncke. In-16, 71 p. avec fig. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie*). (2994)

Zeiller (R.). — Étude sur la flore fossile du bassin houiller d'Héraclée (Asie-Mineure). Gr. in-4°, 95 p. avec fig. et 6 pl. Paris, Carré et Naud (*Mém. de la Soc. géol. de France; Paléontologie*). (5961)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Bazin (H.). — Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir, exécutées à Dijon de 1886 à 1895. In-8°, vi-202 p. avec fig. Paris, Vᵉ Dunod. (586)

Boulvin (J.). — Cours de mécanique appliquée aux machines, professé à l'École spéciale du génie civil de Gand. 8ᵉ fascicule : Appareils de levage ; Transmission du travail à distance. In-8°, 253-xxx p. avec 200 fig. et un index alphabétique des matières des 8 fascicules formant l'ouvrage complet. Paris, Bernard et Cⁱᵉ. (4247)

Camille-Grollet. — Transport aérien par câbles métalliques à l'Exposition de 1900. Projet de M. Camille Grollet In-8°, 79 p. et planches. Paris, 39, rue La Fontaine. (5359)

Dwelshauvers-Dery (V.). — Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur. 2ᵉ édition. In-16, 196 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars ; Masson et Cⁱᵉ. (4299)

Fournié (V.). — Note sur deux formules relatives à l'écoulement permanent et uniforme des liquides. In-8°, 12 p. Paris, Vᵉ Dunod (Extr. des *Annales des Ponts et Chaussées*). (2818)

Lencauchez (A.). — Notes et Observations sur l'emploi de la vapeur comme puissance motrice. In-8°, 111 p. et planche. Paris, Bernard et Cⁱᵉ (Extr. des *Mém. de la Soc. des Ingénieurs civils de France*). (1314)

Mahl (L.) et G. Hallam de Nittis. — Notice sur le générateur « Duplex » (système Mähl et Nittis). In-8°, 35 p. Paris, Vᵉ Dunod. (201)

Nadal (J.). — Théorie mathématique de la machine à vapeur ; Action des parois. In-8°, 114 p. Paris, Vᵉ Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (745)

Ritter (R.-B.). — Usine électrique à vapeur de Grenade (Espagne). In-8°, 16 p. avec grav. et planche. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin (Extr. du journal *le Génie civil*). (3758)

Nansouty (M. de). — La Machine à vapeur et sa chaudière, conférence faite à Lille, le 10 juillet 1898, à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. In-8°, 13 p. Lille, impr. Danel. (2611)

Schmidt (E.). — Coût de la puissance motrice à vapeur, à gaz, à pétrole, d'après un opuscule de M. Eberlé, professeur à Duisbourg (Westphalie), lecture faite à l'Assemblée générale de la

Société industrielle d'Amiens, le 26 décembre 1898. In-8°, 47 p. Amiens, impr. Jeunet. (6639)

Witz (A.). — Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole et des voitures automobiles. T. III. In-8°, 606 p. avec fig. Paris, Bernard et Cie. 20 fr. (1625)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Accumulateurs électriques et Machines dynamo, système Mouterde. In-8°, 68 p. Lyon, Mouterde et Cie. 2 fr. (3366)

Besson. — Étude relative à la composition des cuivres rouges destinés à la fabrication des tuyaux pour conduites de vapeur et d'eau et aux conditions de recette à imposer pour les fournitures de l'espèce. In-8°, 218 p. avec fig. Paris, Bernard et Cie. (1423)

Clerc (L.-P.). — La Photographie des couleurs. Avec une préface de M. *Gabriel Lippmann*, membre de l'Institut. In-16, 191 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. (6398)

Dacremont (E.). — Électricité. Deuxième partie : Applications industrielles. Préface par M. *F. Launay*, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. In-16, xii-642 p. avec fig. et planche. Paris, Ve Dunod. (2783)

Delmas (M.). — L'Électricité en Amérique. Notes de voyage sur le développement des applications de l'électricité aux États-Unis et au Canada. In-8°, 82 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin (Extr. du journal *le Génie civil*). (5843)

Drouin (F.). — L'Acétylène; par F. Drouin. 2e édition. In-16, 215 p. avec fig. Paris, Mendel. (4861)

Gages (L.). — Essai sur la théorie générale des aciers. In-8°, 92 p. avec fig. et planches. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie (Extr. de la *Revue d'artillerie*). (5654)

Geschwind (L.). — Industries du sulfate d'aluminium, des aluns et des sulfates de fer. Gr. in-8°, viii-364 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. (2023)

Houllevigue (L.). — Sur les propriétés irréversibles des ferronickels. In-8°, 7 p. Tours, impr. Deslis frères (Extr. du *Journal de Physique*). (4097)

Janet (P.). — Premiers principes d'électricité industrielle. Piles; Accumulateurs; Dynamos; Transformateurs. 3e édition, entièrement refondue. In-8°, x-280 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 6 fr. (5203)

JAUBERT (G.-F.). — L'Industrie du goudron de houille. In-16, 172 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. 2f,50. (1305)

—— L'Industrie des matières colorantes azoïques. In-16, 168 p. Paris, Gauthier-Villars, Masson et Cie. (6226)

LAFFARGUE (J.). — Manuel pratique du monteur électricien. Le Mécanicien-Chauffeur électricien; Montage et conduite des installations électriques. Cours d'électricité industrielle pratique professionnelle fait à la Fédération générale des chauffeurs mécaniciens de France et d'Algérie. 4e édition. In-16, VIII-675 p. avec fig. Paris, Tignol. (4918)

LEBLOND (H.). — Les Moteurs électriques à courant continu. 2e édition. In-8°, VI-570 p. avec fig. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 10 fr. (2868)

LORENZ (H.). — Machines frigorifiques. Production et Application du froid artificiel; par *H. Lorenz*, ingénieur, professeur à l'Université de Halle. Traduit de l'allemand, avec l'autorisation de l'auteur, par *P. Petit*, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy, et *J. Jaquet*, ingénieur civil. In-8°, IX-187 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars et fils. 7 fr. (723)

PÉCHEUX (H.). — Précis de physique industrielle, rédigé conformément aux programmes officiels, à l'usage des écoles pratiques d'industrie, des écoles professionnelles et industrielles de tous ordres, des jeunes gens qui se destinent à l'industrie, des mécaniciens et des électriciens. Introduction par M. *Paul Jacquemart*, inspecteur général de l'enseignement technique. In-18 jésus, VII-577 p. avec 464 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils. (5509)

Une excursion électro-technique en Suisse; par les élèves de l'École supérieure d'électricité. Avec une préface de *P. Janet*, directeur de l'École supérieure d'électricité. In-8°, x-280 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars. 2f,75. (5305)

VILLON (A.-M.) et P. GUICHARD. — Dictionnaire de chimie industrielle, contenant les applications de la chimie à l'industrie, à la métallurgie, à l'agriculture, à la pharmacie, à la pyrotechnie et aux arts et métiers. T. II. (Fin.) Fascicules 20, 21. In-4° à 2 col., 104 p. avec fig. Paris, Tignol. (4768)

WITZ (A.). — Thermodynamique, à l'usage des ingénieurs. 2e édition. In-16, 203 p. avec fig. Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie. 2f,50. (6099)

6° *Exploitation des mines. — Gites minéraux.*

Carte industrielle de la Chine, contenant les lignes ferrées et lignes télégraphiques construites, concédées et probables, les mines et usines connues, avec les divisions en provinces et les limites avec les puissances voisines, d'après les documents les plus récents et inédits, par M. *Louis Sculfort* et M. *Francis Laur*. Dressée par ordre du Ministre des Affaires étrangères, M. Jules Ferry (1885). Prix : en feuille, 15 fr.; cartonnée et pliée, 18 fr.; entoilée et murale, 20 fr. Paris, Société anonyme des publications scientifiques et industrielles. (1)

Colomer (F.). — Exploitation des mines. In-16, VIII-344 p. avec fig. Paris, Ve Dunod. (2770)

Cumenge (E.). — Sur le gîte cuprifère d'Inguaran (État de Michoacan, Mexique). In-8°, 7 p. Tours, impr. Deslis frères. (Extr. du *Bull. de la Soc. franç. de minéralogie*). (1247)

Fabre (P.). — Des poussières charbonneuses dans l'industrie houillère et de leurs effets sur l'organisme, communication faite au Congrès international de Madrid, le 13 avril 1898 (section d'hygiène du travail). In-8°, 8 p. Montluçon, impr. du Centre médical et pharmaceutique (Extr. du *Centre médical*). (5154)

Jordan (P.). — Note sur l'industrie minérale au Japon. In-8°, 31 p. Paris, Ve Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (4626)

Launay (L. de). — Recherche, Captage et Aménagement des sources thermo-minérales. Origine des eaux thermo-minérales ; Géologie; Propriétés physiques et chimiques. Cours professé à l'École supérieure des Mines. In-8°, x-642 p. avec fig. Paris, Baudry et Cie. (964)

Leproux. — Emploi de l'électricité dans les mines à grisou en Angleterre. In-8°, 16 p. Paris, Ve Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (4362)

Levat (D.). — Mémoire sur les phosphates noirs des Pyrénées. In-8°, 100 p. et planches. Paris, Ve Dunod (Extr. du même recueil). (4651)

Michaud (A.). — L'Industrie extractive dans les Pyrénées, étudiée au point de vue du développement du port de Bayonne (mines, pierres, marbres, ardoises). Conférence faite au Cercle-Bourse de Bayonne, le 6 mars 1899. In-8°, 16 p. Bayonne, impr. Lamaignère. (5488)

Richet (E.). — Conférence sur les mines d'or du Klondyke. In-4°,

22 p. avec portrait. Rouen, impr. Gy (Extr. du *Bull. de la Soc. normande de géographie*). (3757)

SCHIFF (F.). — Les Mines d'or de la Nouvelle-Zélande. In-8°, 96 p. avec grav. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (5291)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

BOURDELLES (M.). — Ponts en maçonnerie articulés aux naissances et à la clef. In-8°, 64 p. Paris, Vᵉ Dunod (Extr. des *Annales des Ponts et Chaussées*). (2738)

Code des signaux échangés entre les agents des trains et les agents de la voie ou des gares. Arrêté ministériel du 15 novembre 1885. Petit in-16, 29 p. Paris, impr. P. Dupont (Chemins de fer de l'Ouest). (3410)

CONSIDÈRE. — Influence des armatures métalliques sur les propriétés des mortiers et bétons. In-8°, 53 p. Paris, 6, rue de la Chaussée-d'Antin. (Extr. du journal *le Génie civil*). (4053)

DELEBECQUE (G.). — Manuel de statistique des chemins de fer français. Résultats de l'exploitation des sept grands réseaux pendant l'année 1897, publiés, d'après les documents officiels, par M. *Germain Delebecque*, inspecteur général honoraire des services commerciaux du chemin de fer du Nord (3ᵉ année). In-16, IV-72 p. Paris, Chaix. 1 fr. (902)

DUBOIS (J.). — Notice sur les constructions en ciment armé; 2ᵉ édition. In-8°, 102 p. avec fig. et planches. Paris, Vᵉ Dunod. (4293)

DUPLAIX (M.). — Abaques des efforts tranchants et des moments de flexion développés dans les poutres à une travée par les surcharges du règlement du 29 août 1891 sur les ponts métalliques. In-8°, 106 p. Paris, Carré et Naud. (913)

FLORENTIN (R.). — Système de protection des trains de chemin de fer contre les collisions. In-18, 17 p. Calais, impr. des Orphelins. (6457)

GOMEL (C.). — Le matériel roulant des chemins de fer français. In-8°, 20 p. Paris, Chaix (Extr. de *l'Economiste français*). (3173)

LACAN (A.). — Étude technique et pratique sur les chemins de fer d'intérêt local, les tramways et autres voies ferrées secondaires (thèse). In-8°, 245 p. Paris, Arthur Rousseau. (2343)

LAVERGNE (G.). — Étude des divers systèmes de constructions en ciment armé. In-8°, 70 p. avec fig. Paris, le Génie civil; Baudry et Cⁱᵉ (Extr. du journal *le Génie civil*). (2353)

NIEPCE (E.). — Quelques considérations sur les tramways et chemins de fer sur routes en matière d'accidents ; Jurisprudence ; Décrets et Arrêtés administratifs. In-8°, 24 p. Lyon, impr. Jevain. (1801)

POLONCEAU (E.). — Note sur la convergence des essieux dans les voitures à grand écartement d'essieux de la Compagnie d'Orléans. In-8°, 7 p. et planches. Paris, Ve Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (4707)

RENOUS (J.). — Les Constructions en béton de ciment armé. In-8°, 10 p. Limoges, Ve Ducourtieux (Extr. des Publications de la *Société Gay-Lussac*). (1836)

SCHROOT (P.-A.). — Note sur le tracé des joints dans les voûtes elliptiques exécutées en briques. In-8°, 8 p. av. fig. Paris, Baudry et Cie (Extr. des *Nouvelles Annales de la construction*). (1078)

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1897. Documents principaux. In-8°, VI-561 p. et 2 cartes en coul. Paris, Impr. nationale. 5 fr. (Ministère des travaux publics). (3978)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

BUISSON (G.). — L'État et les chemins de fer. In-16, 56 p. Privas, Impr. ardéchoise. 1^f,50. (1215)

CHARLES-ROUX (J.). — Voies navigables et Voies ferrées. In-8°, 19 p. Paris, 110, rue de l'Université (Extr. de la *Revue politique et parlementaire*). (76)

DEJEAN (A.). — Étude économique et juridique sur les chemins de fer d'intérêt local (thèse). In-8°, 190 p. Paris, Larose. (1980)

GRUNER (E.) et E. FUSTER. — Aperçu historique sur les syndicats de vente des combustibles dans le bassin rhénan-westphalien. In-8°, 88 p. Paris, Comité central des houillères de France, 55, rue de Châteaudun. (144)

—— —— Le Groupement des industriels en mutualités d'assurances contre les accidents et les charges supportées par les diverses industries, en Autriche, en Allemagne et en France. In-8°, 30 p. Paris, 20, rue Louis-le-Grand (Extr. du *Bull. du Comité permanent du Congrès des accidents du travail*). (6202)

HOUDAILLE (P.). — Étude sur les rapports des agents de chemins de fer avec les compagnies ou administrations qui ont engagé leurs services et avec l'État. In-8°, 278 p. Paris, Arthur Rousseau. (6493)

KEPPEN (A. de). — Les Accidents mortels dans les charbonnages,

les mines métalliques et les carrières des principaux pays (étude statistique). In-8°, 18 p. et tableau graphique. Paris, 26, rue Louis-le-Grand (Extr. du *Bull. du Comité permanent du Congrès des accidents du travail*). (4110)

Lecouturier (G.). — Traité théorique et pratique des accidents du travail. Commentaire analytique de la loi du 9 avril 1898, contenant la responsabilité des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail. In-8°, 331 p. Paris, Fontemoing. 7f,40. (5457)

Leproux. — La Grève des ouvriers mineurs du Pays de Galles en 1898. In-8°, 71 p. Paris, Ve Dunod (Extr. des *Annales des Mines*). (4647)

Loi du 25 juin 1895 sur l'établissement des conducteurs d'énergie électrique. Circulaire ministérielle et Instruction technique sur l'application de la loi. In-8°, 55 p. Paris, Syndicat professionnel des industries électriques, 19, rue Blanche. (197)

Loi sur les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail (9 avril 1898), suivie des décrets des 28 février et 5 mars 1899 et des arrêtés des 29, 30 et 31 mars 1899 qui en règlent l'application. In-32, 31 p. Bordeaux, impr. Delagrange. 0f,50. (5231)

Lois, Décrets et Circulaires concernant les appareils à vapeur. Note pour la préparation des épreuves hydrauliques effectuées avec le concours de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France. Instructions sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des appareils à vapeur. In-8°, 59 p. Lille, impr. Danel. (198)

Lozé (E.). — Conciliation et Arbitrage dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais (1889-1898). In-8°, vi-80 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. (2887)

Parran (A.). — Du régime légal auquel ont été soumis, en Algérie, les minerais de fer exploitables à ciel ouvert, dans la période du 9 novembre 1845 au 23 juin 1866. In-4°, 10 p. Paris, Chaix. (1817)

Pic (P.). — La loi du 9 avril 1898 sur les accidents du travail. Étude critique. Grand in-8°, 59 p. Paris, Larose (Extr. de la *Revue d'économie politique*). (5517)

Péchaud (P.). — De la propriété des mines dans ses rapports avec celle de la surface et de leur usufruit (thèse). In-8°, 148 p. Paris, A. Rousseau. (3735)

Sachet (A.). — Traité théorique et pratique de la législation sur les accidents du travail. In-8°, 899 p. Paris, Larose. 12 fr. (5540)

SERRE (E.). — Les Accidents du travail. Commentaire de la loi du 9 avril 1898 et des règlements d'administration publique relatifs à son exécution, suivi d'une étude comparative de la législation étrangère. In-8°, 363 p. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie. 6 fr. (4454)

TROMBERT (A.). — Les Institutions de prévoyance des grandes Compagnies de chemins de fer. In-8°, XI-40 p. Paris, Chaix. (Extr. du *Bull. de la participation aux bénéfices*). (2421)

VALROGER (P. de). — Étude sur la législation des mines dans les colonies françaises (droit comparé) (thèse). In-8°, 416 p. Paris, Larose. (6321)

VASSART (A.) et NOUVION-JACQUET. — La Loi du 9 avril 1898 sur les accidents industriels, contenant un avant-propos de M. *P. Beauregard*, professeur de droit à l'Université de Paris, député de la Seine, et les trois règlements d'administration publique du 28 février 1899. In-8°, XXXVI-600 p. Paris, Larose. 12 fr. (4193)

WIDMER (G.). — Les Caisses de secours et de retraites des ouvriers mineurs (thèse). In-8°, XV-338 p. Alençon, impr. Ve Guy et Cie. (5044)

9° *Objets divers.*

BAUDRY DE SAUNIER (L.). — L'Automobile théorique et pratique. Traité élémentaire de locomotion à moteur mécanique. Petit in-8° carré, 417 p. avec fig. Neuilly-Levallois, l'auteur, 22, boulevard de Villiers. 9 fr. (1188)

BERTHELOT. — Chaleur animale. Principes chimiques de la production de la chaleur chez les êtres vivants. 2 vol. in-16. T. I (Notions générales), XVI-171 p.; t. II (Données numériques), 151 p. avec fig. Paris, Masson et Cie; Gauthier-Villars. (4232)

GIRARDVILLE (P.). — Étude sur la navigation aérienne. In-8°, 30 p. avec 10 fig. dans le texte. Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie (Extr. de la *Revue d'artillerie*). (5661)

LAUSSEDAT (A.). — Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques. T. I : Aperçu historique sur les instruments et les méthodes; la Topographie dans tous les temps. In-8°, XI-450 p. avec fig. et grav. Paris, Gauthier-Villars. 15 fr. (1525)

MANDOUL (H.). — Contribution à l'étude des filtres naturels. Les Eaux d'alimentation de la ville de Toulouse : leur histoire, leur rôle au point de vue hygiénique (thèse). In-8°, 245 p. et plan. Paris, Baudry et Cie. (732)

Michotte (F.). — Connaissances pratiques pour conduire les automobiles à pétrole et électriques, suivies du nouveau règlement. Cours professé à l'Association polytechnique. In-18, viii-263 p. avec fig. Paris, 21, rue Condorcet; Rijckvorsel. (6558)

Milandre (C.) et R.-P. Bouquet. — Traité de la construction, de la conduite et de l'entretien des voitures automobiles, publié sous la direction de *Ch. Vigreux*, ingénieur civil. 3e volume : Voitures automobiles à pétrole. In-16, 160 p. avec fig. Paris, Bernard et Cie. (1553)

Programme des connaissances exigées pour l'admission à l'École des mines de Saint-Étienne. In-12, 24 p. Paris, Nony et Cie (Ministère des travaux publics). (2144)

Ringelmann. — Les Machines agricoles. 1re série : Culture ; Enseignement ; Récolte. 3e édition, revue et augmentée. Petit in-16, 202 p. avec 111 fig. Paris, Hachette et Cie. 0f,50. (2157)

Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1897, avec un appendice concernant la statistique minérale internationale. In-4°, xxii-262 p. Paris, Ve Dunod ; Baudry et Cie. 10 fr. (Ministère des travaux publics). (2179)

OUVRAGES BELGES.

Heusch (F. de). — Cours d'analyse. Calcul différentiel. In-8°, 278 p. av. fig. Bruxelles, A. Castaigne.

Watteyne (V.) et L. Denoel. — Les accidents survenus dans les cheminées d'exploitation pendant les années 1884 à 1898 inclusivement. In-8°, 105 p. Bruxelles (Ministère de l'industrie et du travail. — Service des accidents miniers et du grisou. — Etudes sur les accidents).

OUVRAGES ANGLAIS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

HAMILTON (Sir W.). — Elements of Quaternions. 2nd ed. Edited by *C.-J. Joly*. In-4°. Longmans. 26f,25.

HARKNESS (J.) and MORLEY (F.). — Introduction to the Theory of Analytic Functions. In-8°, 352 p. Macmillan. 15f,65.

TAYLOR (F.-G.). — An Introduction to the Differential and Integral Calculus and Differential Equations. In-8°, 592 p. Longmans. 16f,25.

2° *Physique et Chimie.*

ADIE (R.-H.). — An Introduction to the Carbon Compounds. In-8°, VIII-90 p. Clive. 3f,15.

ARMSTRONG (Lord). — Electric Movement in Air and Water. With Theoretical Inferences. 2nd ed., with a Supplement. In-fol. 90 p. et planches. Smith, Elder and Co. 37f,50.

BOLTON (H.-C.). — A Select Bibliography of Chemistry, 1492-1897. First Supplement. In-8°, IX-489 p. Wesley. 9f,40.

HEAVISIDE (O.). — Electro-magnetic Theory. Vol. 2. In-8°, 560 p. Electrician Office. 15f,65.

HOFF (J.-H. van't). — Lectures on Theoretical and Physical Chemistry. Trans. by Dr. *R.-A. Lehfeldt*. Part 1, Chemical Dynamics. In-8°, 254 p. E. Arnold. 15 fr.

LACHMAN (A.). — The Spirit of Organic Chemistry. In-8°. Macmillan. 8f,15.

MILLS (J.) and NORTH (B.). — A Handbook of Quantitative Analysis. Illust. In-8°. Chapman and Hall. 2f,75.

MUIR (M.-M.-P.). — A Course of Practical Chemistry. Part 2, Intermediate. In-8°, 224 p. Longmans. 5f,65.

POYNTING (J.-H.) and THOMSON (J.-J.). — A Text-Book of Physics: Sound. In-8°, 174 p. C. Griffin. 10f,65.

ROGER (J.). — Energy and Heat. In-12. Spon. 2f,50.

TILDEN (W.-A.). — A Short History of the Progress of Scientific Chemistry in our Own Times. In-8°, 286 p. Longmans. 6f,25.

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Bonney (T.-G.). — Volcanoes : Their Structure and Significance. Illust. In-8°, xiii-351 p. J. Murray. 8f,15.

Davison (C.). — The Hereford Earthquake of December 17, 1896. In-8°, 317 p. Simpkin. 13f,15.

Lapworth (C.). — An Intermediate Text-Book of Geology. Founded on the Introductory Text-Book of Geology, by the late *David Page*. Illust. In-8°, xvii-414 p. W. Blackwood. 6f,25.

Lydekker (R.). — Wild Oxen, Sheep and Goats of all Lands, living and extinct. Londres. In-4°, 334 p. av. planches. 157f,50.

Memoirs of the Geological Survey. England and Wales. The Geology of the Borders of the Wash, including Boston and Hunstanton (Explanation of Sheet 69, Old Series). By *W. Whitaker*, and *A.-J. Jukes-Browne*. 3f,75.

—— The geology of the Country around Carlisle. Explanation of Sheet 107, with Parts of 101 and 106 Old Series; Sheets 16 and 17, with Parts of 12, 18, 22 and 23, New Series. By *T.-V. Holmes*. 1f,60.

—— The Geology of the Isle of Purbeck and Weymouth. By *Aubrey Strahan*. 13f,15.

—— The Water Supply of Sussex from Underground Sources. By *W. Whitaker* and *Clement Reid*. 3f,75.

Streeter (E.-W.). — Precious Stones and Gems, Their History, Sources and Characteristics. Illustrated with Coloured Plates. 6th ed., Revised and largely Re-written, Up-to-date. In-8°, 356 p. G. Bell. 18f,75.

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Barr (W.-M.). — Boilers and Furnaces Considered in their Relations to Steam Engineering. In-8°. Lippincott. 22f,50.

Busley (C.). — The Marine Steam Engine : Its Construction, etc. 3rd ed., Revised and Translated by *H.-A.-B. Cole*. 2nd part. In-8°, Grevel. 25 fr.

Goodman (J.). — Mechanics Applied to Engineering. With 620 Illusts. and numerous Examples. In-8°, 614 p. Longmans. 9f,40.

Hiller (E.-G.). — Working of Steam Boilers : Being Instructions respecting the Working, Treatment and Attendance of Steam Boilers for the Use of Boiler Attendants, and those in Charge

of and Responsible for Steam Boilers. 2nd ed. Illust. In-8°, 54 p. Manchester, J. Collins, Whittaker. 1f,25.

Jamieson (A.). — A Text-Book of Applied Mechanics. Specially Arranged for the Use of Science and Art, City and Guilds of London Institute, and other Engineering Students. Vol. 2, 2nd ed., Revised and Enlarged. With numerous Diagrams and Examination Questions. In-8°, 493 p. C. Griffin. 10f,65.

Munro (R.-D.). — Steam Boilers : Their Defects, Management and Construction. 3rd ed. With numerous Illusts. and Tables. In-8°, 170 p. C. Griffin. 5f,65.

Perry (J.). — The Steam Engine and Gas and Oil Engines. A Book for the Use of Students who have Time to Make Experiments and Calculations. In-8°, 654 p. Macmillan. 9f,40.

Reeds. — Marine Boilers : The Causes and Prevention of Priming, with Remarks on their General Management, and Notes on Water Tube Boilers by *Henry T. Davis*. With 58 Illusts. 2nd ed., Re-written and Enlarged. In-8°, 224 p. Simpkin. 5f,65.

Silk (A.-E.). — Tables for Calculating the Discharge of Water in Pipes for Water and Power Supplies. In-8°, 64 p. Spon. 6f,25.

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Gibbings (A.-H.). — The Commercial and Business Aspects of Municipal Electricity Supply : A Practical Handbook for the Use of Electrical Engineers to Municipal Corporations and Members of Municipal Electricity Committees. Illust. In-4°, x-270 p. Whittaker. 18f,75.

Hinnen (J.). — Continuous Current Dynamos in Theory and Practice. With Details of Methods and Formulæ Used in Construction. A Practical Hand-Book for Designers, Manufacturers and Users. Illust. with nearly 300 Diagrams. In-8°, 440 p. Biggs and Co. 13f,15.

Morgan (J.-J.). — Tables for Quantitative Metallurgical Analysis for Laboratory Use. In-8°. C. Griffin. 5 fr.

Pearman (T.-H.) and Moor (C.-G.). — The Analysis of Food and Druggs. Part 2, Chemical and Biological Analysis of Water. In-8°. Baillière, Tindale. 6f,25.

Schnabel (C.). — Handbook of Metallurgy. Translated by *Henry Louis*. 2 vols. Vol. 1 : Copper, Lead, Silver, Gold; Vol. 2 : Zinc, Cadmium, Mercury, Bismuth, Tin, Antimony, Arsenic, Nickel, Cobalt, Platinum, Aluminium. In-8°. Macmillan. 52f,50.

Science Abstracts : Physics and Electrical Engineering. Vol. I, 1898. In-8°. Spon. 47f,50.

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Brough (B.). — A Treatise on Mine-Surveying. 7th ed., Revised with Numerous Diagrams. In-8°, 378 p. C. Griffin. 9f,40.

Brown (M.). — Gradation for Mine Management (Prepared for the Use of Practical Men who Require Common, Practical Information). In-8°, 111 p. Wigan, T. Wall and Sons. 1f,90.

Charleton (R.-H.). — Useful Information or Gold Mining Investors. In-8°. E. Wilson. 1f,25.

Home Office. Mines. Year 1898. List of Mines in the United Kingdom of Great Britain and Ireland and the Isle of Man. 3f,75.

—— Mines and Quarries. General Report and Statistics for 1897. Part. 4, Colonial and Foreign Statistics. 2 fr.

Mines. Report of the Inspection of Mines in India for 1897. By *J. Grundy*. 2f,85.

—— Coal Supply of India. 0f,65.

Parliamentary. — Mines and Quarries. Inspectors' Reports for 1898.

—— —— N° 1. East Scotland. 0f,45.

—— —— N° 2. West Scotland District. Plans. 0f,85.

—— —— N° 3. Newcastle District. 0f,65.

—— —— N° 4. Durham District. 0f,65.

—— —— N° 6. North and East Lancashire and Ireland. Plans. 1f,05.

—— —— N° 8. Midland District. Plans. 1f,05.

—— —— N° 9. North Wales, etc., District. Illustrations. 0f,95.

—— —— N° 10. North Staffordshire. 0f,65.

—— —— N° 11. South Staffordshire. 0f,35.

—— —— N° 12. South Western District. 0f,75.

—— —— N° 13. South Wales District. 0f,45.

Skinner (W.-R.). — Mining Manual for 1899. Londres. In-8°, 1392 p. 31f,25.

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Blackhall (R.-H.). — Up-to-Date Air Brake Catechism. In-8°. Spon 8f,15.

Cole (W.-H.). — Light Railways at Home and Abroad. With Plates and Illustrations. In-8°, 352 p. C. Griffin. 20 fr.

Mc Donnell (R.). — How to Become a Locomotive Engineer : Being Advice to Young Mechanical Engineers Passing through Locomotive Works. New ed. In-8°, 62 p. Whittaker. 1f,25.

Pettigrew (W.-F.). — A Manual of Locomotive Engineering, with Historical Introduction. A Practical Text-Book for the Use of Engine Builders, Designers and Draughtsmen, Railway Engineers, and Students. With a Section on American and Continental Engines by *Albert F. Ravenshear.* With 9 Plates and 280 Illustrations. In-8°, 446 p. Griffin. 26f,25.

Parliamentary. — Railways. Continuous Brakes Returns, Jan.-June, 1898. 1f,25.

Railways in India Report. Part 2, 1897-1898. 3f,75.

Sekon (G.-A.). — The Evolution of the Steam Locomotive (1803-1898). 2nd ed., enlarged. In-8°, 336 p. Railway Publishing Co. 6f,25.

Unwin (W.-C.). — The Testing of Materials of Construction. 2nd ed. In-8°, Longmans. 20 fr.

8° *Législation.*

Bigg's General Railway Acts. A Collection of the Public General Acts for the Regulation of Railways, Including the Companies, Lands and Railways Clauses, Consolidation Acts, Complete, 1830-1898. With a Copious Index. 15th ed. As amended to the close of Session 1898. In-8°, 958 p. Waterlow. 31f,25.

9° *Objets divers.*

Kempe (H.-R.). — The Engineer's Year Book of Formulæ, Rules, Tables, Data and Memoranda in Civil, Mechanical, Electrical, Marine and Mine Engineering, 1899. With about 900 Illusts. In-8°, 658 p. Crosby Lockwood and Son. 10 fr.

Molesworth (Sir L.) and Bridges (H.). — Pocket Book of Useful Formulæ and Memoranda for Civil and Mechanical Engineers. 24th ed., revised and enlarged. In-32, 852 p. Spon. 7f,50.

Power (F.-D.). — A Pocket-Book for Miners and Metallurgists. Comprising Rules, Formulæ, Tables and Notes for Use in Field and Office Work, 2nd ed. Corrected. In-12, 350 p. Crosby Lockwood and Son. 11f,25.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

BROWN (N.). — The Organization of Gold Mining Business. New-York. In-8°. 62f,50.

HOFMAN (H.-O.). — The Metallurgy of lead and the Desilverization of base bullion. 5th ed. In-8°, XVI-559 p. av. fig. New-York, Scientific publishing Co. 31f,50.

DE MORGAN (A.). — On the Study and Difficulties of Mathematics. New ed. Portrait. In-8°, VI-288 p. Chicago, Open Court Publishing Co. 6f,25.

OUVRAGES ALLEMANDS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

BURKHARDT (H.). — Funktionentheoretische Vorlesungen. II. Tl. Elliptische Functionen. Leipzig. In-8°, XVI-373 p. av. fig. dans le texte (Fin). 12f,50. (1267)

DÖRRIE (H.). — Das quadratische Reciprocitätsgesetz im quadratischen Zahlkörper mit der Classenzahl 1. Göttingen. In-8°, 75 p. 3 fr. (2010)

Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen. Herausgegeben von *H. Burkhart* und *W.-F. Meyer*. I. Tl. : Reine Mathematik. I. Bd. : Arithmetik und Algebra. Redigirt von *W.-F. Meyer*. 2. Heft. Leipzig. In-8°, 112 p. 4f,25. (1270)

v. ESCHERICH (G.). — Die zweite Variation der einfachen Integrale. 1-3. Mittheilung (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne. In-8°, 60-60 et 48 p. 3f,90. (1273)

PIETZKER (F.). — Beiträge zur Funktionen-Lehre. Leipzig. In-8°, V-64 p. av. 3 fig. 3f,50. (2018)

PUZYNA (I.). — Teorya funkcji analitycznych. T. I, zeszyt 1 i 2. Lemberg. In-8°, 549 p. av. fig. 23f,75. (915)

v. SCHAPER (H.). — Ueber die Theorie der Hadamard'schen Funk-

tionen und ihre Anwendung auf das Problem der Primzahlen. Göttingen. In-8°, IX-68 p. 1f,25. (535)

Urkunden zur Geschichte der nichteuklidischen Geometrie. Herausgegeben von *E. Engel* und *P. Stäckel*. I. Leipzig. In-8°, XVI-476 p. av. un portrait de Lobatschefski et 261 fig. dans le texte. 17f,50. (921)

WEISSTEIN (J.). — Die rationnelle Mechanik. II. Bd. Dynamik der Systeme. Statik und Dynamik flüssiger Körper. Vienne). In-8°, VIII-255 p. av. fig. 8f,75. (1299)

2° *Physique et Chimie.*

BLEIER (O.). — Neue gasometrische Methoden und Apparate. Vienne. In-8°, X-321 p. av. 138 fig. dans le texte. 8f,75. (510)

BOLTZMANN (L.). — Vorlesungen über Gastheorie. II. Thl. : Theorie van der Waals'; Gase mit zusammengesetzten Molekülen, Gasdissociation; Schlussbemerkungen. Leipzig. In-8°, X-265 p. 8f,75. (894)

EXNER (F.) und E. HASCHEK. — Uber die ultravioletten Funkenspectra der Elemente. XIII. Mittheilg. (enth. die Spectra von Ta, Zr) (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne. In-8°, 25 p. av. 4 pl. 1f,80. (904)

FRITSCHE (H.). — Die Elemente des Erdmagnetismus für die Epochen 1600, 1650, 1700, 1780, 1842 und 1885, und ihre säcularen Aenderungen, berechnet mit Hülfe der aus allen brauchbaren Beobachtungen abgeleiteten Coefficienten der Gaussischen « Allgemeinen Theorie des Erdmagnetismus ». Saint-Pétersbourg et Ratzeburg. In-8°, 112 p. autogr. 6f,25. (1659)

GERLAND (E.) und F. TRAUMÜLLER. — Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig. In-8°, XVI-442 p. av. 425 fig. 17f,50. (1275)

Handwörterbuch der Chemie, herausgegeben von *A. Ladenburg*. 82. Lfg. Brunswick. In-8°, 3f,50. (149)

v. HELMHOLTZ (H.). — Vorlesungen über theoretische Physik. Herausgegeben von *A. König*, *O. Krigar-Menzel*, *F. Richarz*, *C. Runge*. I. Bd. 2. Abth. u. III. Bd. Leipzig. In-8°, X-380 p. et X-256 p. av. 21 fig. chacun. 33f,75. (151)

JAHR (E.). — Die Urkraft oder Gravitation, Licht, Wärme, Magnetismus, Elektricität, chemische Kraft u. s. w. sind secundäre Erscheinungen der Urkraft der Welt. Berlin. In-8°, VI-120 p. av. 7 fig. 2f,50. (2014)

Jaumann (G.). — Interferenz der Kathodenstrahlen. I. Mittheilung. Vienne. In-8°, 98 p. 2f,75. (522)

Klimont (J.-M.). — Die synthetischen und isolirten Aromatica. Leipzig. In-8°, xii-206 p. 7f,50. (1279)

Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge. Herausgegeben von *F.-B. Ahrens*. III. Bd. 11. u. 12. Heft. Ueber langsame Verbrennung. Von *G. Bodländer*. Stuttgart. In-8°, iii p. et p. 385-488. Chaque fascicule 1f,25. (533)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Branco (W.). — Die menschenähnlichen Zähne aus dem Bohnerz der schäwbischen Alb. I. u. II. Tl. (Extr. des *Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg*). Stuttgart. In-8°, 144 p. et 128 p. av. fig. et 3 pl. 5 fr. (1265)

Cohen (E.). — Meteoreisen-Studien. VIII. (Extr. des *Annalen des k. k. naturhist. Hofmuseums*). Vienne. In-8°, 42 p. 2f,50. (897)

Fritsch (A.). — Fauna der Gaskohle und der Kalksteine der Permformation Böhmens. IV. Bd. 1. Heft. Insecta. Myriopoda, pars I. Prague. In-fol., 32 p. av. fig. et 12 pl. color. 40 fr. (1658)

Hintze (C.). — Handbuch der Mineralogie. II. Bd. 14. Lfg. Leipzig. In-8°, avec fig. 6f,25. (153)

Kiär (J.). — Die Korallenfauna der Etage 5 des norwegischen Silursystems (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart. In-4°, 59 p. av. fig. et 7 pl. 20 fr. (1665)

Martini und Chemnitz. — Systematisches Conchilien-Cabinet. 438-441. Lfg. Nüremberg. In-4°. Chaque livraison, 11f,25. (162-1282)

—— —— Systematisches Conchilien-Cabinet. Sect. 144 u. 145. Nüremberg. In-4°. Chaque section 33f,75. (163)

—— —— Systematisches Conchilien-Cabinet. I. Bd. 26. Abth. Die Gattung *Cirithium* Lam. Von *W. Kobelt*. Nüremberg. In-4°, 297 p. av. 47 pl. color. 95 fr. (525)

Perner (J.). — Etudes sur les Graptolites de Bohême. IIIe partie. Sect. b. Prague et Leipzig. In-4°, iv-24 p. av. 8 pl. 18f,75. (1286)

Rothpletz (A.). — Das geotektonische Problem der Glarner Alpen. Iéna. In-8°, vii-251 p. avec 34 fig., 1 atlas et 11 pl. color. 45 fr. (169)

v. Siemiradzki (J.). — Monographische Beschreibung der Ammo-

niten-Gattung *Perisphinctes* (Extr. des *Palæontographica*). Stuttgart. In-4°, p. 69-352 av. fig. et 8 pl. 55 fr. (1680)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

HAIER (F.). — Dampfkessel-Feuerungen zur Erzielung einer möglichst rauchfreien Verbrennung. Berlin. In-4°, xx-142 p. av. 301 fig. 17f,50. (2293)

KECK (W.). — Vorträge über Mechanik als Grundlage für das Bau- und Maschinenwesen. III. Thl. : Allgemeine Mechanik. Hanovre. In-8°, VIII-280 p. avec 206 fig. (Fin). 12f,50. (376)

MIE (G.). — Entwurf einer allgemeinen Theorie der Energieübertragung (Extr. des *Sitzungsber. d. k. Akad. der Wissenschaften*). Vienne. In-8°, 70 p. 1f,60. (912)

WANG (F.). — Die Gesetze der Bewegung des Wassers und des Geschiebes, die Berechnung der Wasserabflussmengen und der Durchflussprofile. Zum Gebrauche für den Forsttechniker. Vienne. In-8°, 99 p. av. 86 fig. 3f,15. (1144)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

BECKERT (T.). — Kerpely's Bericht über die Fortschritte der Eisenhütten-Technik. Leipzig, A. Felix. In-8°, 224 p. av. fig. 15 fr.

HOLTZ (A.). — Die Schule des Elektrotechnikers. Lehrhefte für die angewandte Elektricitätslehre. Herausgegeben im Verein mit *H. Wieweger* und *H. Stapelfeldt*. 30. u. 31. Heft. Leipzig. In-8°. Chaque fascicule 0f,95. (374-1505)

RASCH (G.). — Regelung der Motoren elektrischer Bahnen. Berlin et Munich. In-8°, VIII-140 p. av. 28 fig. 5 fr. (2301)

6° *Exploitation des mines.*

BALLING (K.). — Uber die Ermittelung des Substanzverlustwertes beim Bergbau, nebst einem Vergleich zwischen der diesbezüglich in Preussen angewendten und jener in dieser Abhandlung aufgestellten Methode. Prague et Teplitz-Schönau. In-4°, 22 p. 3f,75. (1497)

7° *Chemins de fer.*

Boda (M.). — Die Sicherung des Zugverkehrs auf den Eisenbahnen, I. Thl. Die Sicherung des Zugverkehrs auf der Strecke oder das Fahren in Raumdistanz. Vienne. In-8°, viii-223 p. av. 141 fig. 12f,50. (1127)

8° *Objets divers.*

Beck (L.). — Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. IV. Abtlg. Das 19. Jahrhundert. 5. u. 6. Lfg. Brunswick. In-8°, p. 705-1036 av. fig. Chaque fascicule 6f,25. (366-1890)

Dümmler (K.). — Handbuch der Ziegel-Fabrikation. Die Herstellung der Ziegel, Terrakotten, Röhren, Platten, Kacheln, feuerfesten Waaren und aller anderen Baumaterialien aus gebranntem Thon umfassend. Unter Mitwirkung von *F. Hoffmann* bearbeitet. I. u. II. Abth. Halle. In-4°, p. 1-176 av. fig. 13f,75. (1500)

Duncker (G.). — Die Methode der Variationsstatistik (Extr. des *Archiv für Entwickelungsmechanik*). Leipzig. In-8°, 75 p. av. 8 fig. 3 fr. (1653)

OUVRAGES SUISSES.

Hug (O.). — Beiträge zur Kenntnis der Lias- und Dogger-Ammoniten aus der Zone der Freiburger Alpen. I. Die Oberlias. Ammoniten-Fauna von Les Pueys und Teysachaux am Moléson (Extr. des *Abhandl. d. schweizer. paläont. Gesellschaft*). Zurich et Bâle. In-4°, 29 p. av. 6 pl. 10 fr.

Marek (J.). — Das helvetisch-gallische Pferd und seine Beziehungen zu den præhistorischen und zu den recenten Pferden. (Extr. du même recueil). Zurich et Bâle. In-4°, 62 p. av. 14 pl. 20 fr.

Studer (T.). — Zwei neue Brachyuren aus der miocaenen Molasse (Extr. du même recueil). Zurich et Bâle. In-4°, 10 p., av. 1 pl. 5 fr.

OUVRAGES DANOIS.

Skeat (E.-G.) and Madsen (V.). — On Jurassic, Neocomian and Gault Boulders found in Denmark. Copenhague. In-8°, 236 p. av. 2 pl., 8 tabl. et 1 carte. 7f,50.

OUVRAGES ESPAGNOLS.

Montaner Vega-Verdugo (J.). — Algebra. Madrid. In-4°, 228 p. 23f,40.

Moragas (G.). — Genesis de las rocas. Madrid. In-4°, xii-333 p. av. 1 pl. 22f,50.

OUVRAGES ITALIENS.

1° *Mathématiques et Mécanique pures.*

Alasia (C.). — Esercizi ed applicazioni di calcolo infinitesimale ed integrale. Città di Castello, S. Lapi. In-8°, xii-219 p. 4 fr. (280)

Arcais (F. d'). — Corso di calcolo infinitesimale. Volume I. Seconda edizione, con aggiunte e modificazioni. Padoue, A. Draghi. In-8°, ix-523 p. av. fig. (3439)

Baire (R.). — Sur les fonctions de variables réelles : thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de docteur ès sciences mathématiques. Milan, impr. Bernardoni de C. Rebeschini et C. In-4°, 123 p. (1900)

Barbaro (L.). — Sull' equilibrio d'una sfera e d'un involucro sferico solidi, elastici ed isotropi sotto l'azione di forze di massa provenienti da un potenziale di secondo grado e sotto l'azione di una distribuzione di forze di secondo grado normali alla superficie della sfera e dell' involucro. Messine, Trimarchi. In-8°, 31 p. (1057)

Bianchi (L.). — Teoria delle funzioni di variabile complessa e delle funzioni ellittiche. Parte I. Pise. In-8°. 8 fr.

Bortolotti (E.). — Sulla convergenza degli algoritmi periodici e sulla risoluzione approssimata delle equazioni algebriche. Bologne, tip. G. Civelli. In-8°, 13 p. (1902)

Considerazioni e teoremi sulla funzione proporzionalità, nel calcolo cosi elementare come differenziale ed integrale, di *L.-S.* Milan, tip. degli Ingegneri. In-8°, 47 p. (1063)

Cordara (S.). — Nota sulla impossibilità della quadratura del cerchio. Bologne, soc. tip. Azzoguidi. In-8°, 11 p. (4420)

Morabito (G.). — Memoria per l'equazioni di secondo grado. Gerace Marina, tip. V. Serafino e figlio. In-8°, 16 p. (3444)

Pincherle (S.). — A proposito di un recente teorema del sig. Hadamard: nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 10 p. (Extr. du *Rendiconto d. sess. d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna.*) (3445)

Priolo (G.). — Tavole complete dei valori dei segmenti circolari. Sciacca, tip. B. Guadagna. In-8°, 22 p. (3004)

Razzaboni (A.). — Le formole del Frenet in geometria iperbolica e loro principali applicazioni. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 22 p. (4426)

Ruffini (F.-P.). — Ricerche interno ai momenti d'inerzia di un sistema di punti privo di baricentro : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 26 p. (Extr. des *Rendiconti d. sess. d. r. accad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (1068)

Severini (C.). — Sull' integrazione approssimata delle equazioni differenziali ordinarie. Bologna, N. Zanichelli. In-4°, 27 p. (4429)

Valle (G.). — Funzioni ad una variabile e loro limiti : un capitolo di algebra elementare. Noto, tip. F. Zammit. In-8°, 38 p. (4938)

Vivanti (G.). — Corso di calcolo infinitesimale. Messine, A. Trimarchi. In-16, 6-576 p. av. fig. 8 fr. (646)

Zignago (I.). — Equazioni funzionali. Gênes, tip. istit. Sordomuti. In-16, 31 p. (3910)

—— Osservazioni sulla convergenza delle serie. Gênes, tip. istit. Sordomuti. In-16, 10 p. (3911)

2° Physique et Chimie.

Bruni (G.). — Soluzioni solide fra composti a catena aperta : nota. Parme, tip. L. Battei. In-8°, 7 p. (Extr. de la *Gazzetta chimica italiana*). (4928)

Favaro (A.). — Intorno alle opere scientifiche di Galileo Galilei nella edizione nazionale sotto gli auspicî di S. M. il Re d'Italia. Venise, tip. C. Ferrari. In-8°, 76 p. (Extr. des *Atti del r. istit. veneto di scienze, lettere ed arti*). (4421)

Ferrini (R.), Volta (Z.), Rovelli (C.). — I cimeli di Volta : raccolta voltiana edita per cura della Società storica comense e del comitato esecutivo per le onoranze a Volta. Côme, Bertolini Nani e C. In-8°, 37 p. av. 22 pl. et 6 facsimile. 2 fr. (Extr. de la *Raccolta storica*). (4931)

Gadola (A.). — Metodo pratico per l'analisi chimica qualitativa. Caserta, tip. B. Francesco. In-24, 70 p. 1 fr. (2278)

Griggi (G.). — Di una sensibile e poco nota reazione dell'acido gallico sufficiente a differenziarlo dagli acidi digallico e pirogallico. Milan, tip. del Riformatorio patronato. In-8°, 4 p. (Extr. du *Bollett. chimico-farmaceutico*). (3442)

Gucci (P.). — Intorno all'azione del joduro isopropilico sull'anidride ftalica in presenza di polvere di zinco e della depurazione della propilftalide. Sienne, tip. Cooperativa. In-8°, 7 p. (2279)

Massieri (M.). — Nuovo metodo di valutazione volumetrica del bicloruro di mercurio. Casalmaggiore, tip. Bertoni. In-8°, 11 p. (2675)

Mazzotto (D.). — Sugli armonici delle vibrazioni elettriche : nota. Pise, tip. Pieraccini. In-8°, 8 p. (4933)

Murani (O.). — La luce ne' campi magnetici : fenomeno di Zeeman. Milan, tip. fr. Treves. In-16, 15 p. av. fig. (Extr. de l'*Annuario scientifico ed industriale*). (1905)

Pansa (G.). — La storia della chimica ed alcune note di filosofia naturale. Cassino, L. Ciolfi. In-8°, 49 p. (1547)

Pes (G.). — Sulla deviazione magnetica. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 13 p. av. fig. (Extr. des *Annali dei r. istit. tecnico e nautico di Livorno*). (4936)

Roberto (G.). — Teoria della grandine e dei temporali accompagnati da trombe : conferenza tenuta a Torino in occasione del congresso promosso dalla società meteorologica italiana, 14 settembre 1898. Turin, tip. degli Artigianelli. In-16, 20 p. (3904)

Rovida (A.). — La luce monocromatica come vibrazione ammortita : conseguenze per le onde hertziane e per l'ottica fisiologica. Florence, tip. L. Niccolai. In-8°, 12 p. (Extr. de la *Rivista scientifica*). (2280)

Villari (E.). — Ricerche sulla conducibilità termica dei prodetti di combustibilità delle flamme : nota. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-8°, 8 p. av. fig. (Extr. du *Rendiconto d. sessioni d. r. accad. delle scienze dell'istituto di Bologna*). (4432)

Vivarelli (A.). — Campo ruotante uniforme. Livourne, tip. G. Meucci. In-8°, 8 p. (Extr. des *Annali dei r. istit. tecnico e nautico di Livorno*). (3909)

3° *Minéralogie. — Géologie. — Paléontologie.*

Achiardi (G. d'). — I quarzi delle gessaie toscane. Pise, tip. fr. Nistri. In-8°, 27 p. av. 2 pl. (Extr. des *Memorie, d. soc. toscana di sc. naturali*). (638)

Baretti (M.). — I giacimenti antracitiferi di Valle d'Aosta : relazione geologica. Milan, tip. fr. Bietti e G. Minacca. In-4°, 15 p. (Extr. des *Annali del r. istit. industriale e professionale di Torino*). (1901)

Bombicci (L.). — Le interessanti anomalie (dissimmetrie e spostamenti) dei mirabili cristalli di solfo nativo, della miniera di Cà-bernardi. — Confronto colle anomalie e contorsioni elicoidi del quarzo di Porretta. — Le ipotesi del prof. G. Tschermak sulle curvature delle lastre paraboloidi : objezioni a questa ipotesi; diversa spiegazione proposta per le suddette curvature : memorie. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 52 p. av. 5 pl. (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell'istit. di Bologna*). (2668)

Carapezza (E.) e Schopen (L.-F.). — Sopra alcune nuove *Rhynchonelline* della Sicilia : nota. Palerme, tip. D. Vena. In-4°, 40 p. av. 4 pl. (Extr. du *Giornale d. soc. di scienze naturali ed economiche*). (2671)

Gemmellero (G.-G.). — La fauna dei calcari con Fusolina della valle del Sosio. Palerme. In-4°. 40 fr.

Issel (A.). — Rupe incisa dell'Acquasanta (Appennino ligure). Gênes, tip. Ciminago. In-8°, 6 p. av. fig. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (4423)

Namias (I.). — Collezione di molluschi pliocenici di Castellarquato esistenti nel museo di mineralogia e geologia dell' università di

Modena. Modène, tip. G. T. Vincenzi e nipoti. In-8°, 214 p. (Extr. des *Atti d. soc. dei naturalisti di Modena*). (289)

Ottolenghi (F.). — Nota sopra una scimmia fossile italiana. Gênes, tip. A. Ciminago. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti d. soc. ligustica di scienze naturali e geografiche*). (290)

Pantanelli (D.). — Ricerche sulle sabbie fluviali e sotterranee di Secchia e Panaro. Modène, tip. G.-T. Vincenzi e nipoti. In-8°, 8 p. (Extr. des *Atti d. soc. dei naturalisti e matematici di Modena*). (4934)

Ricci (E.). — Val di Venina; sorgenti dell'Adda : note geognostiche. Sondrio, tip. del Corriere della Valtellina. In-16, 24 p. av. planche. (644)

Sibilla (G.). — Istruzione elementare di geologia, mineralogia ed affini per la ricerca dei minerali : spiegazioni teorico-pratiche. Turin, tip. succ. A. Baglione. In-8°, 107 p. av. 4 pl. 3 fr. (3006)

Stoppani (A.). — Corso di geologia. Terza edizione con note ed aggiunte per cura del prof. *A. Malladra*. Vol. I, fasc. 1 à 3. Milan, tip. C. Rebeschini e C. In-8°, p. 1-192. Chaque fascicule 1f,20. (1907-3450-4430)

Vinaccia Gustavo. — Ceno descrittivo del goniometro a spranghe ideato da Gustavo Vinaccia. Naples, tip. L. Gargiulo. In-8°, 8 p. (3974)

Viola (C.). — Le basi della cristallografia. Pise, tip. succ. fr. Nistri. In-8°, 19 p. (645)

4° *Mécanique appliquée et Machines.*

Benetti (J.). — Formole fondamentali di applicazione generale per le turbine motrici e per le pompe centrifughe elevanti : memoria. Bologne, tip. Gamberini e Parmeggiani. In-4°, 22 p. avec planche (Extr. des *Memorie d. r. accad. delle scienze dell' istit. di Bologna*). (1058)

Générateur Excelsior de vapeur à tubes d'eau (Société pour l'exploitation de découvertes industrielles à Naples). Naples, tip. G. Cozzolino e C. In-8°, 36 p. avec fig. et planche. (1179)

Legnazzi (E.-N.). — La sorveglianza delle caldaie a vapore nel regno d'Italia. Padoue, tip. Sanavio e Pizzati. In-8°, 56 p. 0f,50. (355)

5° *Applications industrielles de la physique et de la chimie. — Métallurgie.*

Borghini (N.). — Il fulmine; modificazioni scientifico-pratiche sulla costruzione dei parafulmini : lettura fatta per incarico della r. società meteorologica italiana, in occasione del congresso tenuto a Torino nel settembre del 1898. Arezzo, tip. E. Sinatti. In-16, 46 p. avec fig. (3897)

Bull (A.). — Un metodo semplice per la determinazione della sezione economica e della minima perdita di lavoro sulle condutture elettriche. Traduzione dal tedesco dell'ing. *V. Lo-Vetere Gallo.* Florence, tip. Bonducciana A. Meozzi. In-8°, 12 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. toscana degli ingegneri ed architetti*). (684)

Ferraris (G.). — Lezioni di elettrotecnica dettate nel r. museo industriale italiano in Torino, raccolte per cura della famiglia. Vol. I (Fondamenti scientifici dell'elettrotecnica). Turin, Roux Frassati e C. In-8°, iv-432 p. avec fig. 15 fr. (1066)

Lombardi (L.). — Sull' impiego dei condensatori nelle trasmissioni di energia elettrica a correnti alternate e loro costruzione industriale : memoria in appendice all' Annuario per l'anno scolastico 1898-99 (R. museo industriale italiano in Torino). Turin, tip. V. Bona. In-8°, 95 p. (4045)

Norbaci (E.). — L'A. B. C. dell'elettricista costruttore : principî generali; misure elettriche; pile ed apparecchi comuni; rocchetti e loro svariate e divertenti applicazioni; galvanoplastica; radiografia; luce elettrica; accumulatori; telefoni e telegrafi; dinamo ed impianti industriali, costruzione e manutenzione; telegrafia senza fili. Terza edizione. Venise, C. Acerboni. In-8°, 135 p. avec fig. (726)

Rosa (V.). — Descrizione di un congegno per rimettere all' ora gli orologi coll' uso di onde hertziane di determinata durata emesse in ora prestabilita dalla sede di un cronometro centrale mediante il telegrafo Marconi. Alexandrie, tip. G. Chiari. In-8°, 8 p. avec planche. (1549)

Studio sulle condizioni dell' industria siderurgica in Lombardia (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell' agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, 48 p. avec planche. 1 fr. (Publicazioni del Corpo reale delle miniere). (3574)

6° *Exploitation des mines. — Gîtes minéraux.*

Bourdon (C.) e Vigreux (C.). — Rapport sur les gisements de cuivre de Barghe (province de Brescia) et sur la création et l'utilisation à Barghe d'une chute d'eau sur la rivière le Chiese. Brescia, impr. du journal *La Provincia*. In-4°, 48 p. (2351)

Casoria (E.). — L'acqua iodica nella valle di Sarno (provincia di Salerno) : studî e ricerche chimiche. Florence, soc. tip. Fiorentina. In-8°, 36 p. (Extr. du recueil l'*Idrologia e la Climatologia*). (2999)

Golfarelli (I.). — Memoria sull' anemometro Combes perfezionato : comunicazione letta alla r. accademia dei Georgofili nell'adunanza ordinaria del 5 giugno 1898. Florence, tip. edit. Elzeviriana. In-8°, 18 p. av. planche. (288)

Rivista del servizio minerario nel 1897 (Ministero di agricoltura, industria e commercio : direzione generale dell'agricoltura). Rome, tip. Nazionale di G. Bertero. In-8°, CLVI-361 p. av. 4 pl. (362)

Spyri (E.). — L'elettricità applicata nelle miniere. Rome, tip. coop. Sociale. In-4°, 12 p. av. fig. (Extr. de la *Rassegna mineraria*). (2759)

Stroppa (C.) e Garelli (F.). — Acqua minerale di Montetondo delle Fate : analisi chimica. Bologne, tip. Zamorani e Albertazzi. In-8°, 8 p. (Extr. du *Bollett. chimico-farmaceutico*). (3451)

7° *Construction. — Chemins de fer.*

Barbusca (V.). — Tavole per facilitare la ricerca dei momenti statici delle sezioni delle travi a parete piena. Turin, tip. C. Giorgis. In-8°, VIII-52 p. av. fig. (3055)

Beer (A.). — Studio per evitare gli scontri ferroviari. Venise, tip. V. Federico. In-8°, 16 p. av. 2 pl. (Extr. de l'*Ateneo Veneto*). (1591)

Campiglio (A.), Rusconi Clerici (G.) e Rigoni (G.). — La trazione elettrica sulle ferrovie e tramvie. Milan, tip. L. Zanaboni e Gabuzzi. In-8°, 36 p. (1959)

Colombini (G.). — L'esercizio ferroviario. Turin, Renzo Streglio. In-16, 14 p. (1133)

Costruttore (Il) : trattato pratico delle costruzioni civili, industriali e pubbliche, delle arti ed industrie attinenti, disposto alfabeticamente, ad uso dell' ingegnere civile ed industriale,

dell'architetto, dell'agronomo, dei capimastri, imprenditori, industriali, ecc. Opera illustrata da oltre 4000 incisioni. Disp. 196-197. Milan, F. Vallardi. In-4°, p. 689-752, avec fig. (1962)

Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie : norme pratiche dettate da una eletta di ingegneri specialisti. Disp. 142-146. Turin, Unione tipografico-editrice. In-4° av. fig., p. 1-32, 401-424, av. 9 pl.; p. 33-75, av. 3 pl.; p. 57-88, 425-456, av. 10 pl. 2 fr. la livraison. (328-2719-3057)

Legnazzi (E.-N.). — Tunnel sottomarino attraversante il mare Jonio nello stretto di Messina per la nuova ferrovia tra l'Italia e la Sicilia. Padoue, tip. Sociale Sanavio e Pizzati. In-8°, 37 p. av. 2 pl. 1 fr. (3510)

Pattacini (E.). — La ferrovia transiberiana. Florence-Rome, tip. fr. Bencini. In-16, 34 p. (Extr. du *Giornale dei lavori publici e delle strade ferrate*). (3062)

8° *Législation. — Économie politique et sociale.*

Franchi (U.). — La nuova legge per gl' infortuni degli operai sul lavoro in rapporto ai contratti in corso e ai nuovi istituti assicuratori : relazione rimessa al consiglio dell'associazione industriale e commerciale dell'arte della lana in Prato. Prato, tip. Giachetti, figlio e C. In-8°, 21 p. (719)

Pozzo (C.). — Vent'anni di vita ferroviaria : storia dell'organizzazione dei machinisti e fuochisti italiani. Opera postuma pubblicata dall'associazione di M. S. e miglioramento fra i conduttori delle locomotive delle ferrovie italiane. Milan, tip. A. Koschitz e C. In-15, xxii-295 p., avec portrait. 1 fr. (4347)

9° *Objets divers.*

Boccardo (E.-C.) e Baggi (V.). — Trattato elementare completo di geometria pratica. Disp. 60-61. Parte II (Topografia). Turin, Unione tipografico-editrice. In-8°, p. 105-168, av. 8 pl. 1f,50 la livraison. (283-2996)

Conti (A.). — Nuovi studi sui combustibili. Milan, tip. Marcolli e Turati. In-8°, 68 p. (4029)

Gridlo Della Berta (G.). — Il telidrometrografo, apparecchio brevettato indicante e scrivente a distanza le altezze dell' acqua segnate da un idrometro. Padoue, tip. Prosperini. In-4°, 23 p. av. planche. (687)

Magnani (A.). — La teoria di Zickler sulla comparazione del costo dell'energia elettrica ottenuta con esercizio privato o con derivazione da una centrale. Florence, tip. Bonducciana A. Meozzi. In-8°, 11 p. (Extr. du *Bollett. d. soc. toscana degli ingegneri e architetti*). (723)

Schiavone (M.). — Il principio della dirigibilità orizzontale degli aerostati ed il binaerostato. Potenza, tip. edit. Garramone e Marchesiello. In-8°, 48 p. av. fig. (3548)

Trattato generale teorico pratico dell'arte dell'ingegnere civile, industriale ed architetto, redatto dai professori *E. Basile*, *C. Ceradini*, *E. Garuffa*, *E. Piazzoli*, *D. Spataro*, *G. Stabilini*, *G. Torricelli*, *G. Turazza*, ecc. Fasc. 1-16. Milan, F. Vallardi. In-8°, avec fig.; p. 1-32; p. 1-64; p. 1-224; p. 1-160; p. 1-32; p. 1-32. 1 fr. le fascicule. (1967-3517-4499)

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME QUINZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

EXPLOITATION DES MINES. — GÎTES MINÉRAUX.

CHIMIE. — MÉTALLURGIE.

MÉCANIQUE. — MACHINES.

CHEMINS DE FER.

LÉGISLATION. — ÉCONOMIE SOCIALE.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

ERRATA

AU TOME QUINZIÈME.

Page 228, ligne 10, *au lieu de* : 24 acres, soit 96 hectares,
lire : 24 acres, soit 9,6 hectares.
Page 248, note (**), *au lieu de* : 3.000 £ (7.500 francs),
lire : 300 £ (7.500 francs),
et *au lieu de* : 5.000 £ (12.500 francs)
lire : 5.000 £ (125.000).

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME QUINZIÈME.

Pl. I et II. — Les phosphates noirs des Pyrénées.

Pl. III. — Emploi de l'électricité dans les mines à grisou en Angleterre.

Pl. IV. — Station d'essai de l'arsenal de Woolwich (Loi anglaise de 1896 sur les mines de houille).

Pl. V et VI. — Les champs d'or de Coolgardie.

Pl. VII, VIII et IX. — Système d'enclenchements par serrures Bourré.

Pl. X, XI et XII. — L'industrie métallurgique dans la région de Saint-Etienne.

Pl. XIII et XIV. — Méthode graphique pour la reconnaissance et la vérification du tracé des voies de chemins de fer.

Pl. XV. — Gisements de minerais de fer des presqu'îles de Kertch et de Taman.

Pl. XVI. — Etude des conditions d'établissement des dynamitières souterraines. — Expériences de Blanzy du 6 juillet 1898.

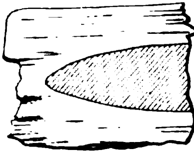
Pl. XVII et XVIII. — Les minerais de fer des territoires des Meknas et des Nefzas.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

hate en

Fig. 4

Phtanite avec gros nodules



(N° 21)

Fig 5

Phtanite à amandes



(N° 10)

Fig. 11

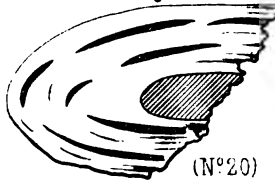
...le fissuré



(N° 6)

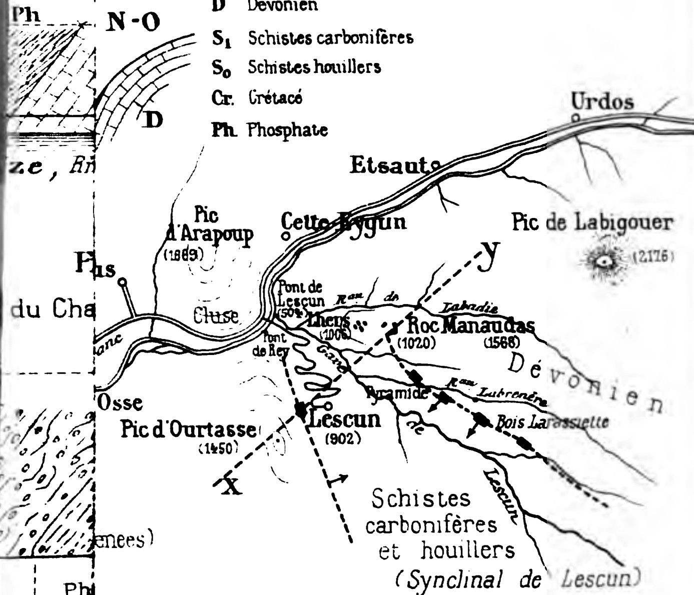
Fig. 12

Nodule de phosphate et de lydite

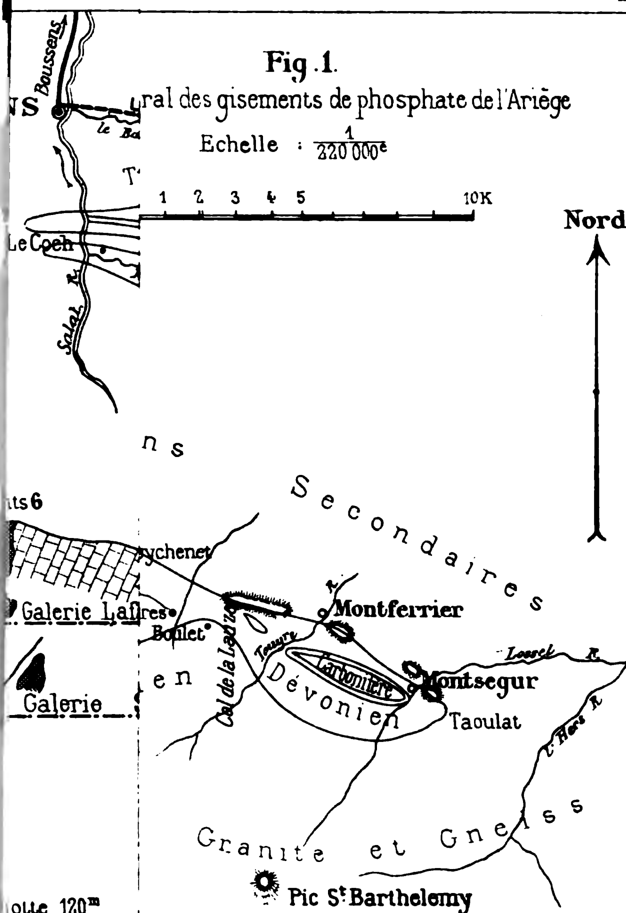


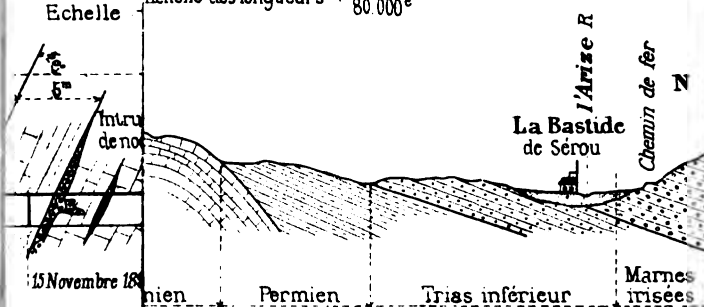
(N° 20)

...semble

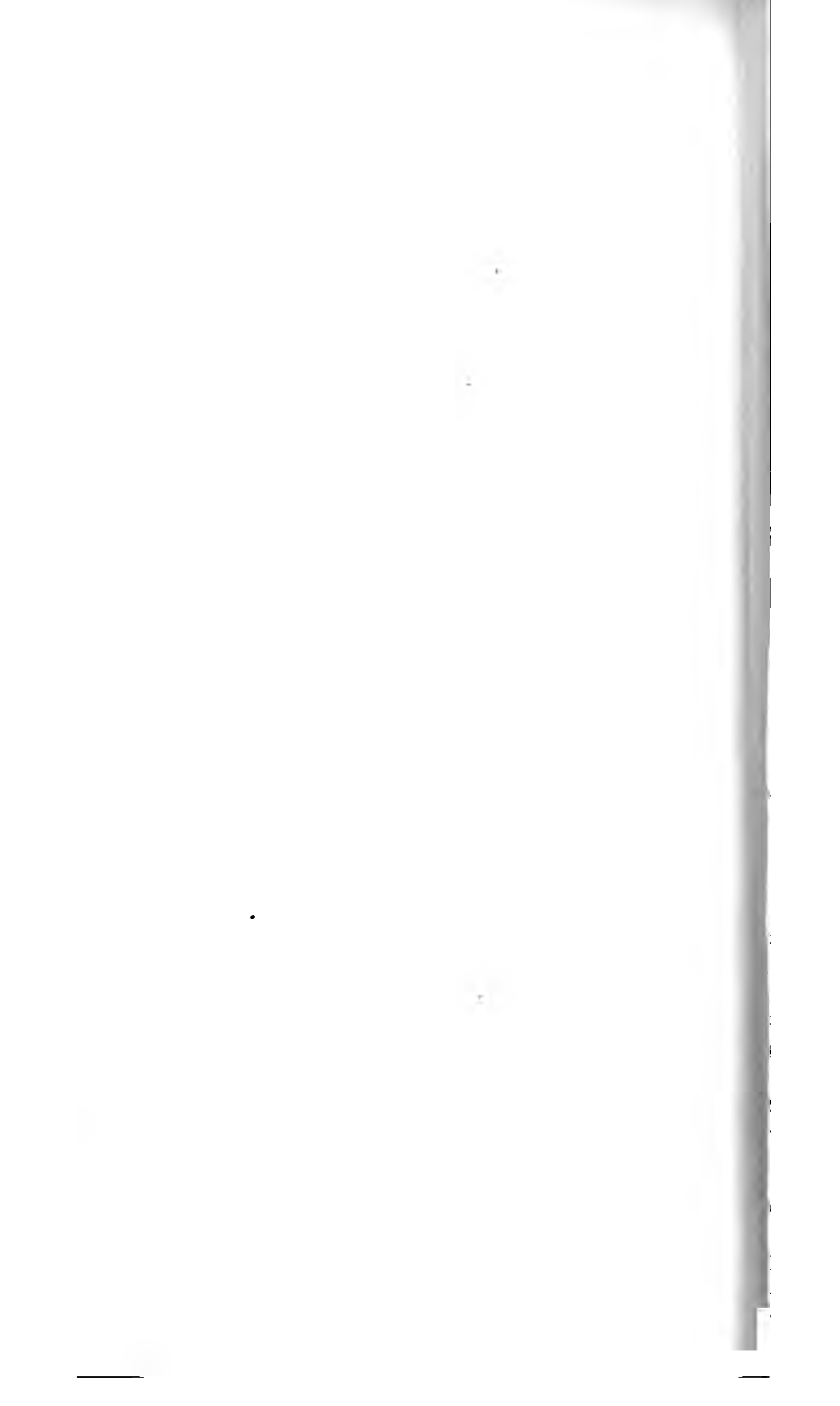


Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris





Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



Pl. III

Fig.1.

Fig.3. Vue de face du disque isolateur et des porte-balais

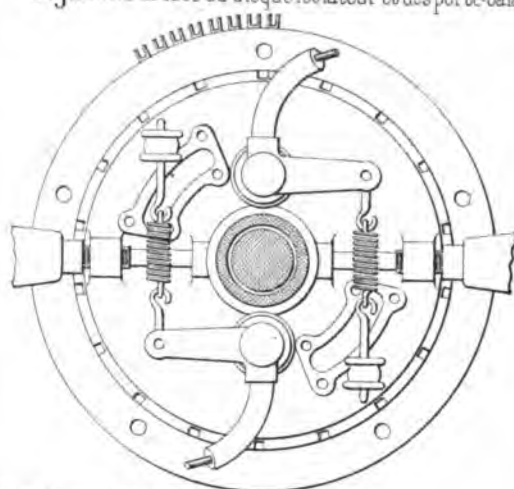
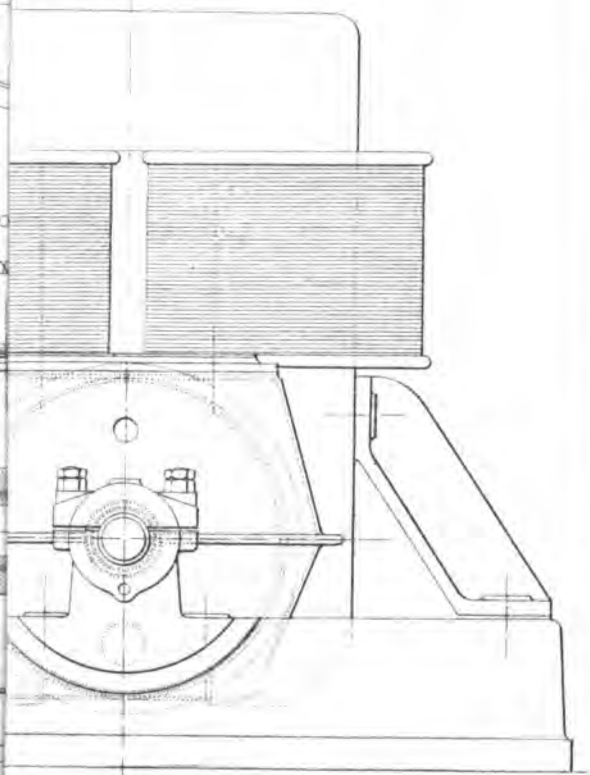


Fig.6. Vue de face



el 6.

Hickleto

uivant l'ax

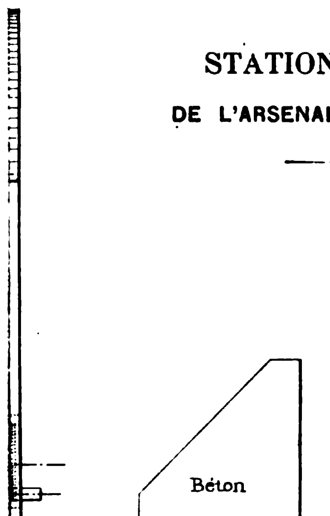
Série. To

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

STATION D'ESSAIS

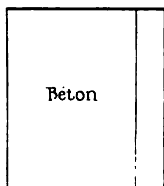
DE L'ARSENAL DE WOOLWICH





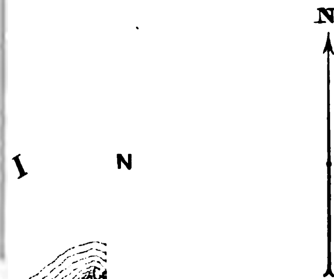
Echelle :

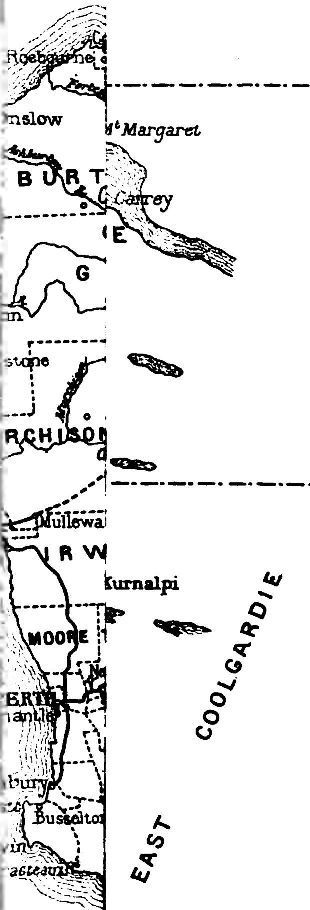
0m 0125 pour 1m 00



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Fi R DE COOLGARDIE
RALIE





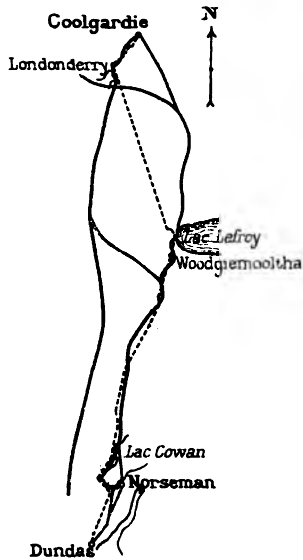


Fig. 3.
Route de Coolgardie à Norseman et Dundas

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Pl. VI.

EAST MURCHISON

No

COOLGARDIE

MPS D'OR

E EAST

OOLGARDIE

I N D I E N

GOLFE AUSTRALIEN

Légende

Routes

Chemins de fer

DES C

DIE, YI

9e Série.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

vier enc
e

Fig.6 à 8. Armature (en fonte malléable)

Fig.7. Coupe par AB

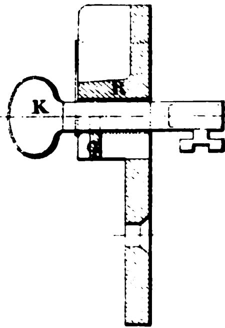


Fig.6. Elévation

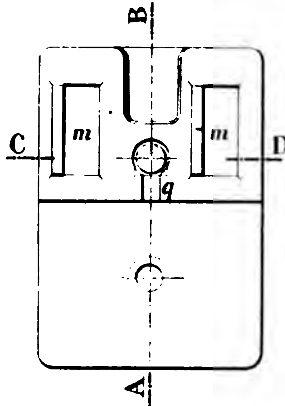


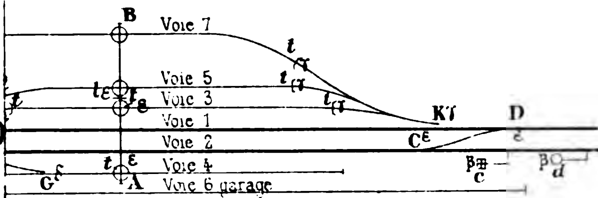
Fig.8. Coupe par CD



à 11. Agra
rofil

n plan

g.15. Schéma des voies d'une Gare

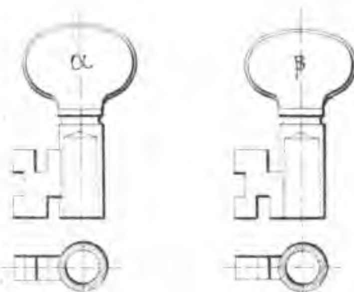


Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Fig. 3. Clefs (en bronze)

ıature

Élévation



Élévation

Profil commun

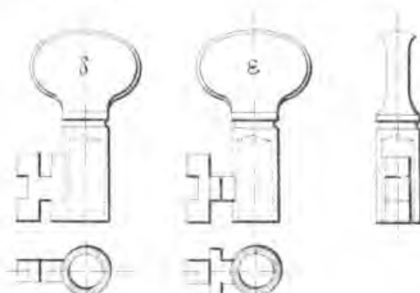
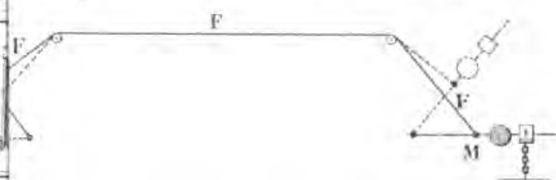


Fig. 4.

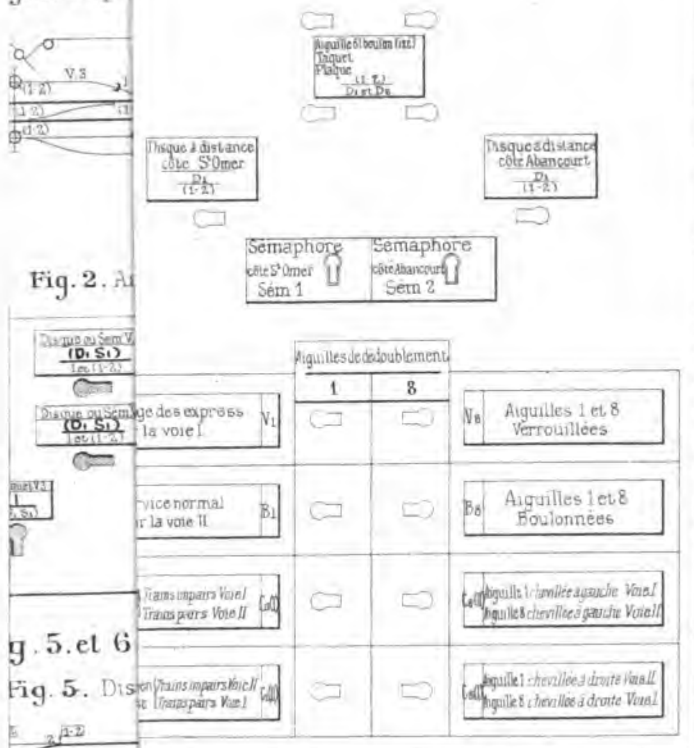
positif permettant d'éviter le transport des clefs

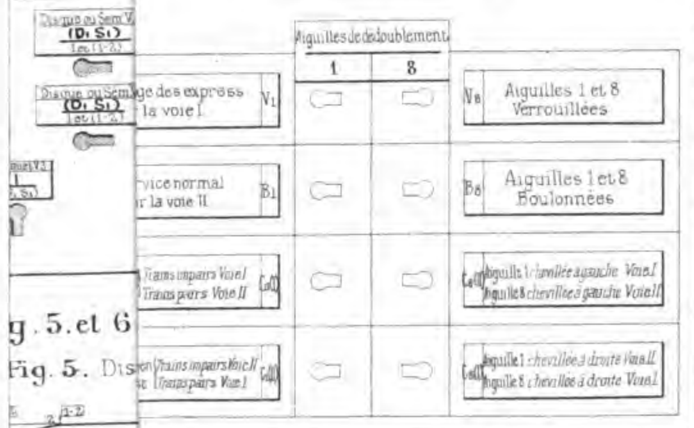


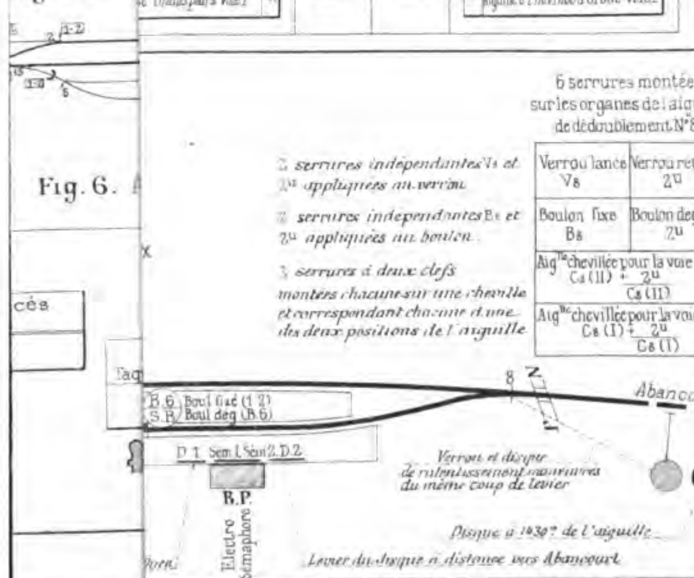
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

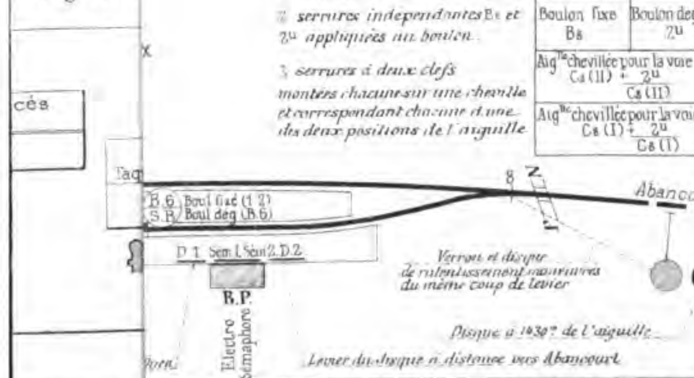
Fig. 7. et 8. Station de Marseille-le-Petit

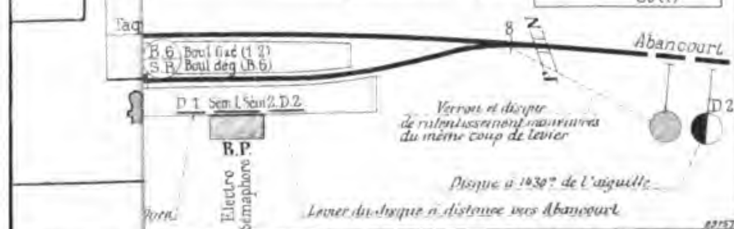
Fig. 8. Aspect de la serrure centrale











Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Pl. X.

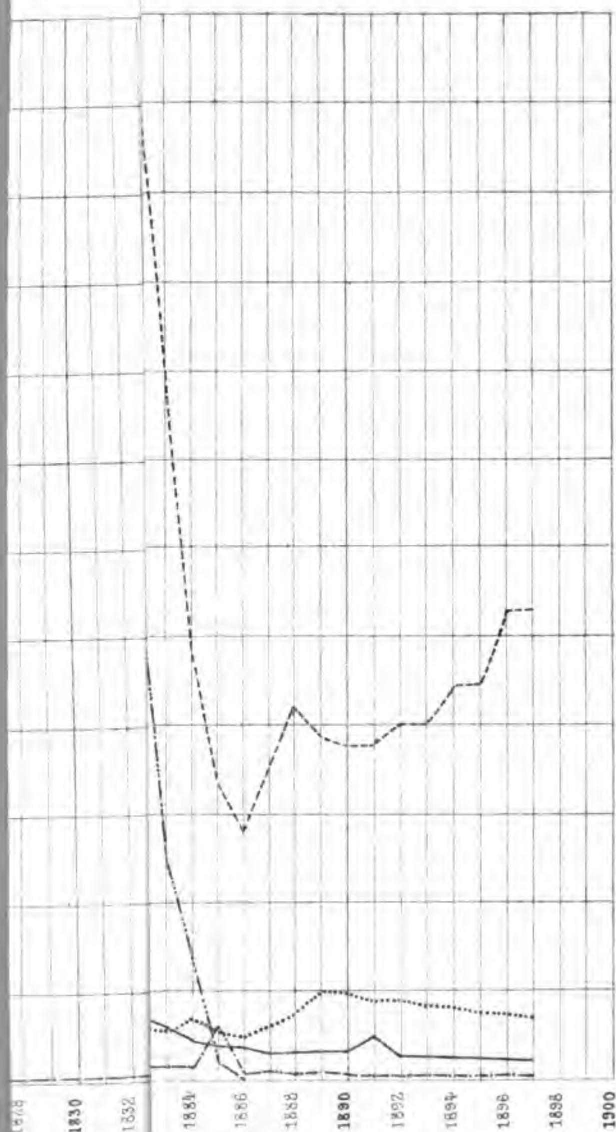


Tome XV, p

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

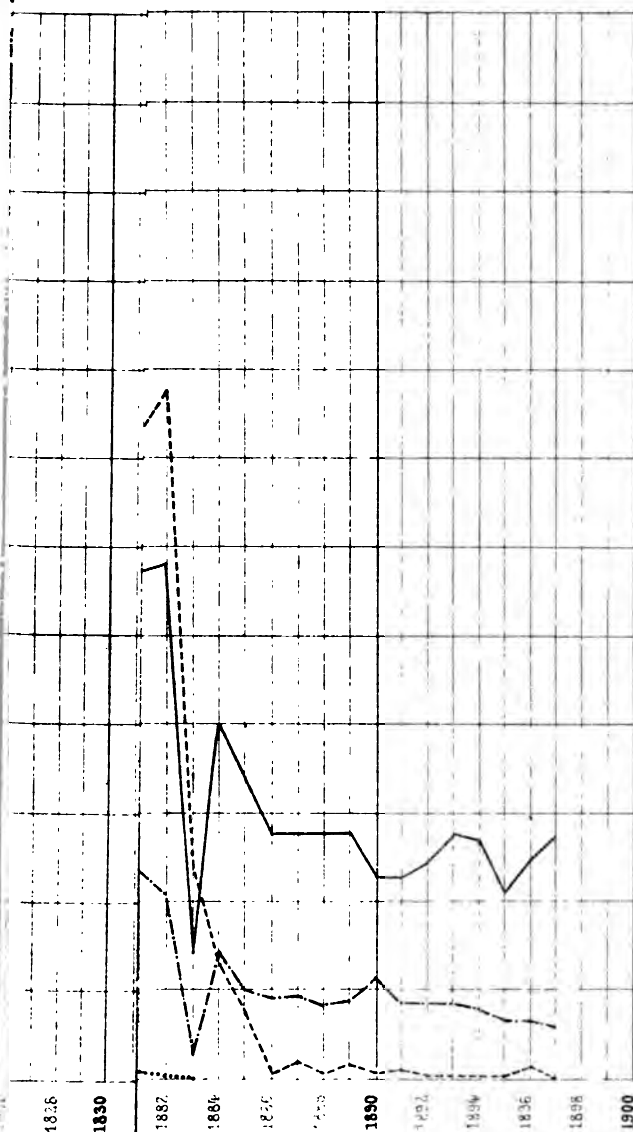
puddlé
cémenté
Bessemer et Ac…
au creuset
Bessemer seul(…

…a courbe spéciale de l'acier Bessemer n'a pu, …uie de documents suffisamment détaillés, …re tracée que de 1882 à 1886.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

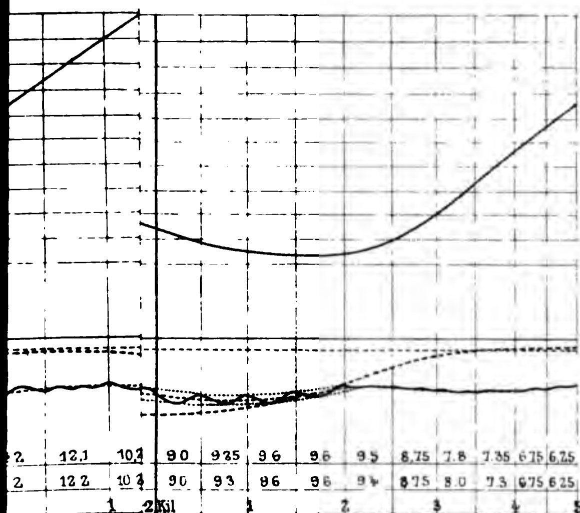
Pl. XII.



Imp. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

MÉTHCHEMINS DE FER

ıars

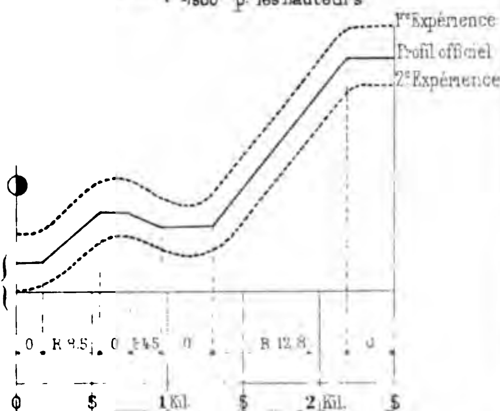


lle des temps : ²/₃ de millimètre pour 1 seconde

des accélérations : ²/₃ de millimètre pour $\frac{g}{1000}$

Profil de la voie

Échelles de { 1/50.000 pr les longueurs; 1/500 pr les hauteurs }

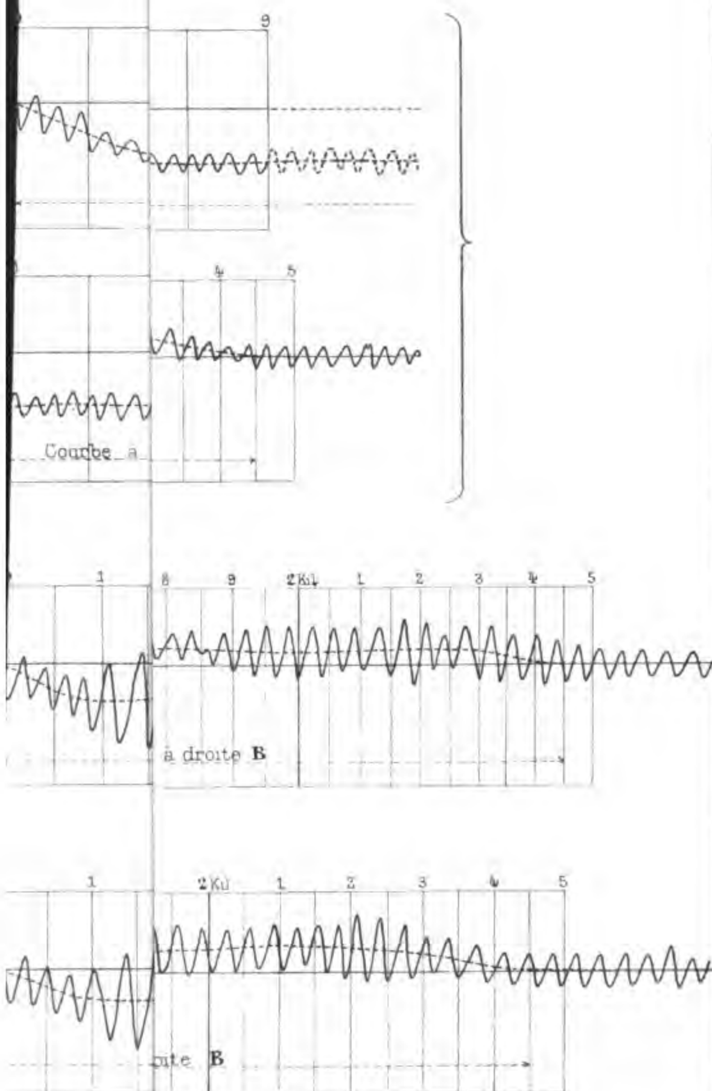


Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

Pl.XIV.

MÉTHODEMINS DE FER

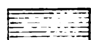
Setrique 2,5



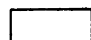
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

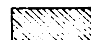
...SE GÉOLOGIQUE DES PÉNINSULES
DE
KERTCH ET DE TAMAN

Légende


Pontique


Méotique

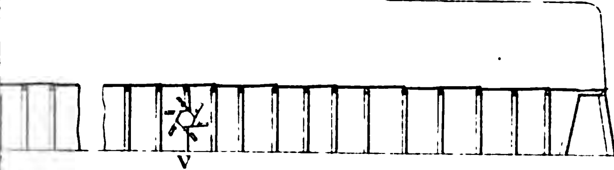

Sarmatique

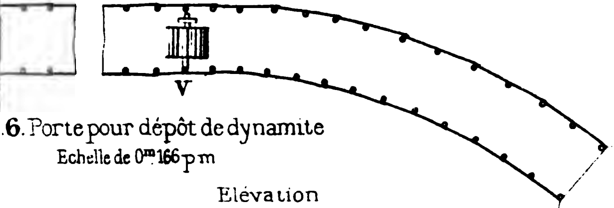

Argiles schisteuses du miocène supérieur et moyen

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



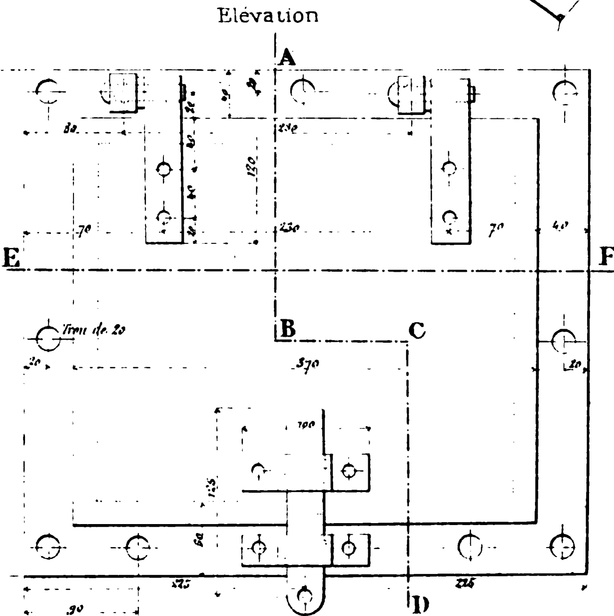
ravers bancs du Découvert Maugrand
Echelle de 0m,00375 p m



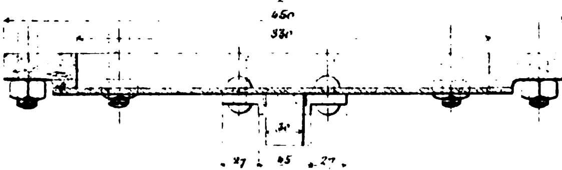


.6. Porte pour dépôt de dynamite
Echelle de 0m166 p m

Elévation



Coupe EF



L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Pl. XVII.

S

St Mrahric

Dj. Dahraoui

St Brahim

St Ahmed Baleus

q

St Drisi

e³

St Dahra

Dj. el Harech

St Daou

St Ali ben Youcef

St Ali Merzoug

St Haoud el Oued

St Ahmed

bou Laaba

St Salem

St Zallou

q

Dj. bou Laya

St Salem Lemlou

St Ambark Zakraoua

St Ahmed el Djemal

Dj. Sidi Ahmed

St Chmaldm

St Zaid

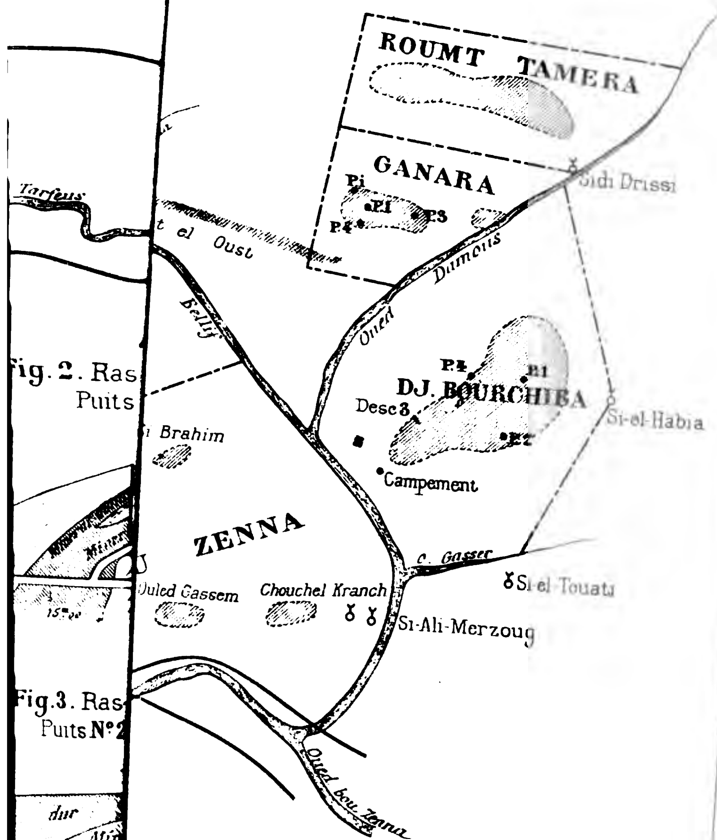
Dj. Mzid

St Cherib

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

nes. 9e S

ncession



9e Série. To

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

